



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**Propuesta teórica de un Sistema de Alerta Temprana ante  
deslizamientos en la ciudad de Riobamba**

**Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil**

**Autor:**

**Buñay Zumba, Adriana Lorena**

**Tutor:**

**Ing. MsC. Jorge Eugenio Núñez Vivar**

**Riobamba, Ecuador. 2023**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

Yo, Adriana Lorena Buñay Zumba, con cédula de ciudadanía 0604065300, autora del trabajo de investigación titulado: Propuesta teórica de un sistema de alerta temprana ante deslizamientos en la ciudad de Riobamba, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 10 de noviembre de 2023.



---

Adriana Lorena Buñay Zumba

C.I: 060406530 0

**DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE  
TRIBUNAL;**

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **Propuesta teórica de un sistema de alerta temprana ante deslizamientos en la ciudad de Riobamba**, presentado por **Adriana Lorena Buñay Zumba**, con cédula de identidad número **0604065300**, certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 10 de noviembre de 2023

Gabriela Zúñiga Mgs.  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO

Firma

Diego Hidalgo. Mgs.  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

Firma

Marcelo Guerra. Mgs.  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

Firma

Jorge Eugenio Núñez Vivar, Mgs.  
TUTOR

Firma

## CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **Propuesta teórica de un sistema de alerta temprana ante deslizamientos en la ciudad de Riobamba** por **Adriana Lorena Buñay Zumba** con cédula de identidad número **0604065300**, bajo la tutoría de **Mgs. Jorge Eugenio Núñez Vivar**; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 10 de noviembre de 2023.

Presidente del Tribunal de Grado  
Mgs. Gabriela Zúñiga



Firma

Miembro del Tribunal de Grado  
Mgs. Diego Hidalgo



Firma

Miembro del Tribunal de Grado  
Mgs. Marcelo Guerra



Firma



# CERTIFICACIÓN

Que, **Buñay Zumba Adriana Lorena** con CC: **0604065300**, estudiante de la Carrera de ingeniería civil, **NO VIGENTE**, Facultad de **Ingeniería**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado " **Propuesta teórica de un sistema de alerta temprana ante deslizamientos en la ciudad de Riobamba**", cumple con el 2 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **urkund** porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente, autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 01 de noviembre de 2023



Msc. Jorge Núñez  
**TUTOR TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

## **DEDICATORIA**

Este proyecto va dedicado con todo mi amor y cariño a mi esposo y a mis hijos ya que sin su ayuda y apoyo esto no hubiese sido posible.

A mis padres por el sacrificio y esfuerzo que hicieron por sacarnos adelante.

A mis hermanos y sobrinos por su apoyo incondicional y por creer en mi desde el primer día.

A todos los que con sus palabras de aliento me motivaban a seguir adelante.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por cada guiar mi camino y darme la fortaleza para seguir adelante.

A mi esposo, gracias por ser mi apoyo incondicional durante todo este proceso. Tus palabras de aliento, paciencia y amor incondicional me han impulsado a seguir adelante incluso en los momentos más difíciles.

A mis hijos Dylan y Andy, ustedes son mi mayor inspiración. Ver sus sonrisas y sentir su amor incondicional ha sido mi combustible para superar cada obstáculo. Gracias por comprender mis largas horas de estudio y por brindarme el impulso para alcanzar mis metas. Cada logro es también un reflejo de su amor y apoyo.

A mis padres, les debo todo lo que soy hoy. Su dedicación y sacrificio en mi educación han sido un regalo invaluable. Todo lo que he logrado es gracias a su guía y apoyo constante.

A la Mgs. Carolina Almache y Mgs. Jorge Núñez, su sabiduría y orientación han sido de gran ayuda en este proceso de aprendizaje. Gracias por brindarme su tiempo, paciencia y conocimiento para enriquecer este trabajo.

# ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA.....	
DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL;.....	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL.....	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO.....	
DEDICATORIA.....	
AGRADECIMIENTO.....	
ÍNDICE GENERAL.....	
ÍNDICE DE TABLAS.....	
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	
RESUMEN.....	
ABSTRACT.....	
1 CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1 Antecedentes.....	14
1.2 Planteamiento del Problema.....	14
1.3 Justificación.....	15
1.4 Objetivos.....	16
1.4.1 Objetivo general.....	16
1.4.2 Objetivos específicos.....	16
2 CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	17
2.1 Estado del arte.....	17
2.2 Marco teórico.....	18
2.2.1 Gestión de riesgo.....	18
2.2.2 Sistema de alerta temprana.....	19
2.2.3 Plan de gestión de riesgo.....	22



2.2.4	Movimiento de masas.....	22
2.2.5	Revisión histórica de deslizamientos en Riobamba .....	32
3	CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	34
3.1	Tipo de Investigación.....	34
3.1.1	Investigación básica descriptiva .....	34
3.2	Diseño de Investigación.....	34
3.3	Técnicas de recolección de Datos .....	35
3.4	Población de estudio y tamaño de muestra .....	35
3.5	Métodos de análisis.....	36
3.5.1.	Metodología para evaluación de riesgos .....	36
3.5.2	Revisión y análisis de sistemas SAT .....	37
4	CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	41
4.1	Procesamiento de datos.....	41
4.1.1	Esquematización y mapeo de resultados .....	41
4.1.2	Nivel de riesgo asociado a la Vulnerabilidad Física .....	42
4.2	Comparación de los SAT.....	48
4.2.1	Selección del sistema SAT .....	49
4.2.2	Desarrollo de la propuesta .....	50
4.3	Discusión.....	58
5	CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	59
5.1	Conclusiones.....	59
5.2	Recomendaciones .....	60
6	BIBLIOGRAFÍA .....	61
7	ANEXOS .....	67
7.1	Anexo 1 Evaluación de RFV de las diferentes zonas .....	67
7.2	ANEXO 2 Probabilidad de ocurrencia del deslizamiento .....	79

7.3	ANEXO 3 Categorización de los niveles de riesgo .....	80
7.4	ANEXO 4 Mapa de riesgo sísmico.....	81
7.5	ANEXO 5 Mapa de fallas de Riobamba.....	81
7.6	ANEXO 6 Zonificación Riobamba.....	82
7.7	Anexo 7 Código de montaje en Arduino .....	82
7.8	ANEXO 8 Fotografías .....	85

## ÍNDICE DE TABLAS.

<b>Tabla 1</b>	Causas antrópicas de deslizamientos .....	30
<b>Tabla 2</b>	Causas naturales de deslizamientos .....	31
<b>Tabla 3</b>	Eventos de deslizamientos en el cantón Riobamba. ....	32
<b>Tabla 4</b>	Eventos de deslizamientos en la ciudad de Riobamba .....	33
<b>Tabla 5</b>	Coeficiente de influencia de la amenaza (CIA).....	36
<b>Tabla 6</b>	Coeficiente de influencia de vulnerabilidad (CIV).....	37
<b>Tabla 7</b>	Evaluación de la amenaza.....	37
<b>Tabla 8</b>	Evaluación de la vulnerabilidad física.....	37
<b>Tabla 9</b>	Ventajas y Desventajas de los sistemas comunitarios .....	38
<b>Tabla 10</b>	Ventajas y Desventajas de los Sistemas de Aleta Tecnológicos .....	39
<b>Tabla 11</b>	Coeficiente de influencia de la amenaza (CIA).....	42
<b>Tabla 12</b>	Coeficiente de influencia de vulnerabilidad (CIV).....	43
<b>Tabla 13</b>	Evaluación de la amenaza.....	43
<b>Tabla 14</b>	Evaluación de la Vulnerabilidad Física .....	45
<b>Tabla 15</b>	Amenaza y Vulnerabilidad por sectores .....	46
<b>Tabla 16</b>	Niveles de Riesgo .....	47
<b>Tabla 17</b>	Comparación de los SAT.....	48
<b>Tabla 18</b>	Presupuesto para el SAT.....	57

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Figura 1</b> Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo .....	18
<b>Figura 2</b> Amenazas naturales.....	19
<b>Figura 3</b> Ciclo del SAT.....	20
<b>Figura 4</b> Planificación y gestión de riesgo de desastres (Bello, Bustamante , & Pizarro, 2020).....	22
<b>Figura 5</b> Desprendimientos o caídas (Alcántara, 2000) .....	24
<b>Figura 6</b> Vuelcos o desplomes (Alcántara, 2000) .....	25
<b>Figura 7</b> Desplazamiento Rotacional (Skinner & Porter, 1992).....	25
<b>Figura 8</b> Flujos (Alcántara, 2000) .....	26
<b>Figura 9</b> Expansiones Laterales (Alcántara, 2000).....	27
<b>Figura 10</b> Partes que conforman un deslizamiento (Suárez, 2012) .....	28
<b>Figura 11</b> Esquema del diseño de la investigación.....	35
<b>Figura 12</b> Limite Urbano de Riobamba (MUNIPPIO DE RIOBAMBA) .....	41
<b>Figura 13</b> Mapa de Riesgo por Movimiento de Masa (Geoportal Municipio de Riobamba) .....	41
<b>Figura 14</b> Mapa de Riesgo de deslizamiento.....	47
<b>Figura 15</b> Zona de Análisis.....	50
<b>Figura 16</b> Temperatura en Riobamba .....	51
<b>Figura 17</b> Precipitaciones en Riobamba .....	52
<b>Figura 18</b> Diagrama de flujo del sistema.....	54
<b>Figura 19</b> Esquema de transmisión.....	55
<b>Figura 20</b> Dispositivos para la recepción de información .....	55
<b>Figura 21</b> Diagrama lógico de comunicación.....	56
<b>Figura 22</b> Diagrama Físico de Comunicación modificado de (Córdova & Bonilla, 2018) .....	56
<b>Figura 23</b> Topología tipo estrella del proyecto.....	58

## RESUMEN

Los deslizamientos de tierra pueden conllevar consecuencias graves, como: afectación de la infraestructura, pérdidas humanas, destrucción de propiedades y modificaciones en el entorno natural. Por tanto, resulta crucial llevar a cabo una planificación del uso del suelo y aplicar medidas de mitigación a fin de disminuir el riesgo de deslizamientos, especialmente en áreas propensas a tales eventos. Además, es esencial prestar atención a las advertencias emitidas por las autoridades y tomar precauciones para salvaguardar tanto la vida como la propiedad en caso de un deslizamiento.

Para llevar a cabo este estudio, fue necesario identificar las zonas vulnerables a deslizamientos y evaluar el riesgo asociado a la vulnerabilidad física. Para determinar el área de estudio, se realizó una investigación de campo recopilando información necesaria para evaluar los distintos parámetros. Los resultados obtenidos tras un análisis cualitativo en varias zonas indicaron que el mayor nivel de riesgo se encuentra en el tramo comprendido entre el Barrio Los Shirys hasta la Ciudadela Monseñor Leónidas Proaño, con un valor de RVF de 28.24, siendo este el lugar donde se pretende implementar el SAT

Para la propuesta teórica de un SAT para deslizamientos en la ciudad de Riobamba, se realizó una comparación entre los SAT comunitarios y los SAT tecnológicos, estableciendo así un SAT mixto, el cual utilizará Arduino MEGA y sensores Fc28 de humedad, DHT11 de temperatura y humedad relativa, y un pluviómetro de balancín, que combinados con otros dispositivos brindaran un SAT eficiente y económico.

**Palabras claves:** deslizamiento, planificación, vulnerabilidad, SAT, Arduino

## ABSTRACT

Landslides can have severe consequences, such as infrastructure damage, loss of human lives, property destruction, and alterations to the natural environment. Therefore, it is imperative to engage in land use planning and implement mitigation measures to reduce the risk of landslides, particularly in areas prone to such events. Furthermore, it is essential to pay heed to warnings issued by authorities and take precautions to safeguard both life and property in the event of a landslide.

In order to conduct this study, it was necessary to identify landslide-prone areas and evaluate the risk associated with physical vulnerability. To determine the study area, a field investigation was conducted to gather the necessary information for assessing various parameters. The results obtained after a qualitative analysis in multiple areas indicated that the highest level of risk is located in the stretch from Los Shirys to Ciudadela Monseñor Leónidas Proaño neighborhoods, with a value of RVF of 28.24. This is the location where the SAT is intended to be implemented.

For the theoretical proposal of SAT for landslides in the city of Riobamba, a comparison was made between community-based SAT and technological SAT, resulting in a hybrid SAT. This system will utilize an Arduino MEGA and sensors, including Fc28 humidity sensors, DHT11 sensors for temperature and relative humidity, and a tipping bucket rain gauge. These components, in combination with other devices, will provide an efficient and cost-effective SAT.

Keywords: landslide, planning, vulnerability, SAT, Arduino.



Firmado electrónicamente por:  
JHON JAIRO INCA  
GUERRERO

Reviewed by:

Msc. Jhon Inca Guerrero.  
**ENGLISH PROFESSOR C.C.**  
0604136572

# **1 CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

## **1.1 Antecedentes**

Ecuador es un territorio considerado como uno de los países que albergan mayor biodiversidad, alta fertilidad de suelos y dotación de recursos naturales, sin embargo, a nivel regional, aunque se resalta su potencial en recursos de desarrollo, es uno de los países con mayor probabilidad de ocurrencia de desastres naturales. Entre las causas principales son las derivadas de condiciones de vulnerabilidad y también las de origen geológico-geomorfológico e hidrometeorológicos (Bustamante, 2018).

En el marco de estas últimas condiciones, las lluvias constantes han destruido los sistemas viales, en el caso de la provincia de Chimborazo se han destruido varios puentes de ferrocarril y algunos tramos de la línea férrea entre Huigra y Alausí, causando gran impacto en la economía local; además las condiciones hidrometeorológicas han provocado deslizamientos lo que ha obligado a modificar el trazado vial de las carreteras en Alausí, Chunchi, Guamote y Pallatanga (FLACSO, 2014).

Los desastres de este tipo son una constante, los registros históricos de los eventos relacionados a los deslizamientos para el cantón se tienen desde 1940, este registra la desaparición del pueblo de Cacha con cerca de 5000 muertos aproximadamente.

Casos puntuales en el cantón Riobamba las fuertes lluvias suscitadas en el cerro Baisán sector La Calerita Santa Rosa, Parroquia San Juan se produjo un deslizamiento de tierra de pequeñas dimensiones (Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (SNGRE, 2013). Contrario a estos también existen casos de grandes dimensiones como el de la Parroquia Químiag, donde se han producido fuertes deslizamientos de tierra lo que puso en situación crítica a 14 familias, un total 43 personas en riesgo (SNGRE, 2012).

El denominador común en todo lo descrito son las familias afectadas pues pierden sus viviendas, cultivos, animales menores, en definitiva, destrucción de unidades de producción agrícolas y más drásticamente pérdidas humanas.

## **1.2 Planteamiento del Problema**

Riobamba es uno de los cantones que debido a su ubicación geográfica está altamente expuesto a diferentes tipos de amenazas naturales, siendo una de ellas los deslizamientos, estos pueden ser provocados por lluvias o por sismos, que acompañado con el crecimiento desordenado de la población provoca una alta vulnerabilidad frente a posibles daños.

Estudios posteriores de deslizamientos han permitido determinar los lugares vulnerables y de alto riesgo, sin embargo, no existe un Sistema de Alerta Temprana que pueda ayudar a mitigar los daños tanto humanos como materiales y de accesibilidad.

En conformidad a ello, el inadecuado sistema de comunicación que integre y vincule a todos los actores incluyendo a la comunidad científica y técnica, a las autoridades públicas y a las comunidades locales, ha ocasionado una respuesta imprecisa, inoportuna y no confiable lo que genera pérdidas humanas y económicas

Por este motivo se pretende brindar una opción factible, eficiente y eficaz de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) con el fin de poder aplicar en la ciudad de Riobamba.

### **1.3 Justificación**

La presente investigación se justifica ante el alineamiento en los principios de la Constitución Nacional del Ecuador (CRE, 2015) en su artículo 389 donde establece que:

El Estado protegerá a las personas, las colectividades y la naturaleza frente a los efectos negativos de los desastres de origen natural o antrópico mediante la prevención ante el riesgo, la mitigación de desastres, la recuperación y mejoramiento de las condiciones sociales, económicas y ambientales, con el objetivo de minimizar la condición de vulnerabilidad. (p.174)

Los deslizamientos de tierra tienen gran impacto en el hombre, en las actividades diarias y en las infraestructuras, debido al crecimiento desordenado en lugares antes no ocupados que están o pueden estar expuestos a este tipo de amenaza en la actualidad se trata de dar mayor atención a las amenazas geológicas en el contexto de prevención y gestión de desastres.

Bajo este contexto es necesario promover estrategias a partir del conocimiento del riesgo y desarrollar acciones orientadas a la reducción del mismo, esto con el fin de fortalecer la capacidad de respuesta de la población ante emergencias y desastre.

Adicionalmente, dado el alto índice de riesgo a deslaves en el cantón Riobamba resulta pertinente la determinación de los instrumentos del Sistema de Alerta Temprana (SAT), pues por efectos del cambio climático es más frecuente y de una magnitud considerable.

En este sentido los beneficiarios directos es la población del cantón Riobamba para quienes se contemplan las medidas de información y ante un eventual deslizamiento de tierra, esto les permitirá precautelar sus vidas y bienes; de la misma manera, los beneficiarios indirectos corresponden a aquella población que transita por las principales vías que

comunicas las provincias y regiones para la comercialización de sus productos o la prestación de sus servicios.

Finalmente, el mecanismo planteado tiene la finalidad de servir de base para que sea replicado en localidades similares que también se encuentren expuestas a los riesgos de deslizamiento

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Proponer un Sistema de Alerta Temprana para deslizamientos en la ciudad de Riobamba

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Obtener un mapa de deslizamientos que nos ayude a identificar de manera precisa los lugares vulnerables ante deslizamientos
- Levantar información de los lugares vulnerables ante deslizamientos
- Identificar los diferentes tipos de Sistemas de Alerta Temprana
- Comparar la eficiencia entre los Sistemas de Alerta Temprana



## **2 CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Estado del arte**

Dentro de las múltiples acciones relacionadas con la gestión del riesgo a desastres, el SAT es uno de los elementos principales, ya que contribuyen, efectivamente, a evitar la pérdida de vidas y disminuir el impacto económico y material en las poblaciones vulnerables y afectadas por eventos destructivos (UNESCO, 2012).

Un sistema de alerta temprana se puede definir como el conjunto de herramientas, dispositivos de control, capacidades de gestión e instrumentos tecnológicos que las instituciones claves identifican para difundir la información de manera oportuna a las comunidades expuestas a un riesgo, y cuyo resultado son medidas de mitigación orientadas a reducir los efectos de los desastres naturales y las pérdidas económicas y de vidas (Dominguez & Lozano, 2014).

La importancia de un SAT, radica en que permite conocer anticipadamente y con cierto nivel de certeza, en que tiempo y espacio, una amenaza o evento adverso de tipo natural o generado por la actividad humana puede desencadenar situaciones potencialmente peligrosas. Por lo cual las alertas deben difundirse con suficiente anticipación (UNESCO, 2012).

Los Sistemas de Alerta Temprana son aplicables tanto a eventos naturales, como aquellos provocados por la actividad humana y por la interacción de ambos elementos, cuyas características permiten su vigilancia y monitoreo. Entre las amenazas o eventos más comunes a los cuales se aplican un SAT tenemos las inundaciones, deslizamientos de tierra, huracanes, volcanes, tsunamis, incendios forestales, fenómeno del niño y la niña, entre otros (UNESCO, 2012).

Los sistemas de alerta pueden ser, en su organización, tan simples o complejos como se quiera, no obstante, todos deberían contar como mínimo con tres componentes básicos: Un sistema de instrumentación (para el caso de deslizamientos, uno adaptado para deslizamientos disparados por lluvia o sismo, o ambos), un sistema informático que reciba la información y permita su análisis y un sistema de alarma que avise del peligro inminente (deslizamiento) (UNESCO, 2012).

Los sistemas de alerta temprana pueden tener diferentes estructuras que varían en su complejidad, pero, por lo general, están conformados por los siguientes subsistemas: subsistema de alerta, subsistema de información del riesgo, subsistema de preparación,

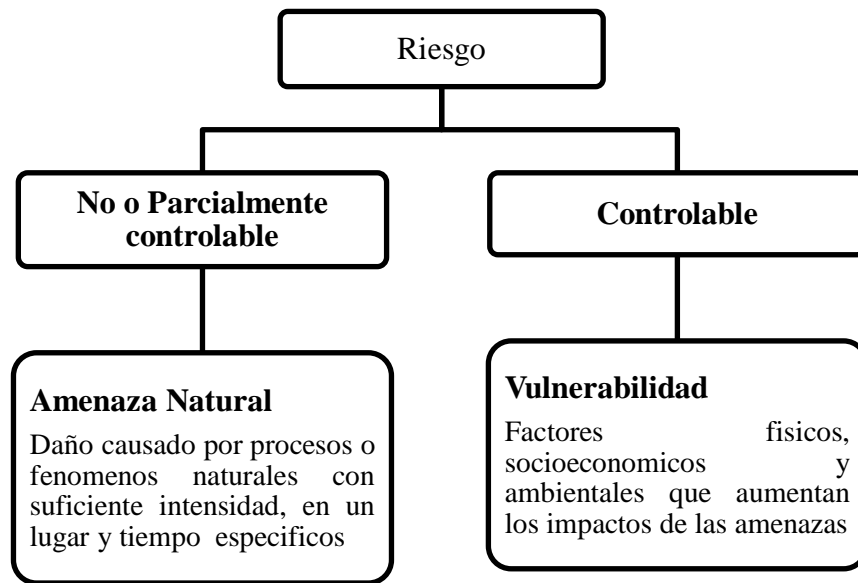
mediante el cual se desarrollan estrategias y acciones para reducir los daños generados por el desastre y subsistema de comunicación (Hinestroza, 2019)

## 2.2 Marco teórico.

### 2.2.1 Gestión de riesgo

La gestión del riesgo se define como el proceso de identificación, análisis y cuantificación de los mismos, es decir de las probabilidades de pérdidas y efectos secundarios como resultados de los desastres, así como también incluyen las acciones preventivas, correctivas y reductivas que deben implementarse (Gestión del riesgo, 2022).

El riesgo es una función de dos variables: la amenaza y la vulnerabilidad. La existencia de ambas da lugar al riesgo, expresado como la probabilidad de pérdidas, en un sitio geográfico determinado y en un tiempo específico. (Gestión del riesgo, 2022)



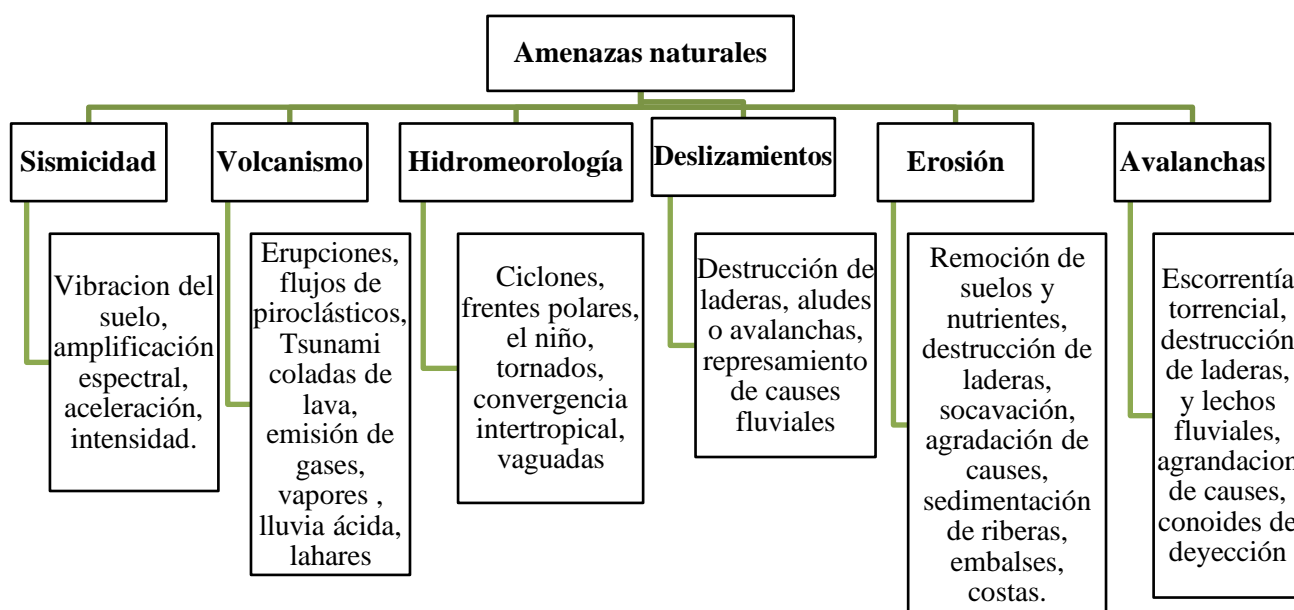
**Figura 1** Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo

#### 2.2.1.1 Amenazas naturales

Una amenaza natural se define como "aquellos elementos del medio ambiente que son peligrosos al hombre y que están causados por fuerzas extrañas a él" Organización de los Estados Americanos (OEA, 2020).

Desde otro contexto se admite que una amenaza es un fenómeno natural o provocado por el ser humano con probabilidad de poner en peligro a un grupo de personas, sus cosas y

su ambiente, cuando no son precavidos Oficina de las Naciones Unidas para la Gestión de Riesgos y Desastres, (UNDRR, 2019)



**Figura 2** Amenazas naturales

### 2.2.2 Sistema de alerta temprana

Un Sistema de Alerta Temprana (SAT) es un sistema diseñado para detectar, monitorear y prevenir eventos o situaciones adversas antes de que ocurran o en las primeras etapas de su desarrollo. Estos sistemas son esenciales para proporcionar advertencias anticipadas sobre peligros naturales, como terremotos, tsunamis, inundaciones, tormentas severas, erupciones volcánicas y otros eventos potencialmente catastróficos, así como para riesgos humanos, como epidemias, crisis de seguridad, y otros. (ONU, 2022)

La principal finalidad de un SAT es proteger vidas, bienes y recursos al permitir que las autoridades y la población tomen medidas de prevención y mitigación en respuesta a las alertas emitidas. Los SAT pueden emplear una variedad de tecnologías y métodos, como sensores, sistemas de monitoreo, análisis de datos y comunicaciones, para recopilar información en tiempo real, evaluar amenazas y emitir alertas que proporcionen a las personas el tiempo necesario para tomar decisiones y ponerse a salvo. (ONU, 2022).

Diseñado correctamente un sistema de alerta temprana contribuye a salvar vidas, medios de trabajo, zona de cultivo, infraestructuras, colabora a la sostenibilidad a largo plazo. Estos constituyen una herramienta para los organismos públicos de los países pues

ayudan a la administración, planificación, ahorro de dinero y protección de sus economías (ONU, 2022).



**Figura 3** *Ciclo del SAT*

### **2.2.2.1 Componentes del SAT**

#### **2.2.2.1.1 Conocimiento de los riesgos**

Es la exposición a la población propensa a las vulnerabilidades de su zona a la información sobre los peligros, aquí se apoya en los antecedentes antes encontrados que los afectaron, conocer un riesgo puede ser:

- De carácter técnico-científico,
- De carácter regional, local y comunitario

Identificado los riesgos es necesario representarlos en mapas de riesgo donde se determinen las zonas de influencia del SAT (De Sena, 2020).

#### **2.2.2.1.2 Servicio de Seguimiento y Alerta**

Corresponde al acompañamiento permanente de los peligros y sus manifestaciones basado en un sustento técnico científica y un sistema de pronóstico y alerta de 24 horas de operatividad y llevado a cabo de un Módulo de Monitoreo y Análisis de los Centros de Operaciones de Emergencia (COE) (Gallo & Medina, 2021).

### **2.2.2.1.3 Difusión y comunicación**

Son aquellos mecanismos o medios de soporte que se emplean para difundir y advertir a las autoridades y población sobre las alertas y alarmas, entonces una vez alertados se debe poner en práctica las medidas de preparación y en actuación a la respuesta en el Estado es sus niveles maso, meso y micro, es decir nacional, regional y local (Gallo & Medina, 2021).

### **2.2.2.1.4 Capacidad de respuesta**

Son aquellas actividades de preparación buscando desarrollar capacidades a nivel de la población y en las autoridades en todos sus niveles de gobierno. Las actividades que abarcan son:

- Aplicación de los planes de contingencia y de operaciones de emergencia.
- Organización de la comunidad para la oportuna respuesta a la alerta y alarma.
- Implementación de rutas de evacuación y zonas seguras externas, que deben ser señalizadas.
- Ejecución de ejercicios de simulación y simulacros, para que se verifique el funcionamiento adecuado del SAT (Municipalidad de Guayaquil, 2021).

En definitiva, el Sistema de Alerta Temprana tiene como objetivo alertar a la población cuando ocurre una emergencia y entonces pone en práctica las medidas pertinentes para salvaguardar sus vidas, es decir aplicar los protocolos.

### **2.2.2.2 Aspectos principales para la implementación del SAT**

La implementación del SAT debe hacerse desde tres aspectos los mismo que citaron Gallo y Medina (2021) como:

1. Debe ser abordado de forma integral considerando los 4 aspectos que permitan que el sistema subsista.
2. La implementación debe ser a nivel nacional provincial y regional
3. El grupo de trabajo para la Gestión del Riesgo de Desastres en el marco de sus competencias designa un equipo técnico para la priorización, implementación y monitoreo del SAT.
4. Vincula de manera directa población y autoridades.
5. Debe incorporarse al SAT en los planes y documentos de gestión institucional.

### 2.2.3 Plan de gestión de riesgo

La gestión del riesgo de desastres es un proceso que incorpora múltiples sectores y por lo tanto debe incorporarse en la planificación nacional. La Comisión Económica para América Latina en su repositorio cuenta con el informe de Bello et.al (2020) donde consta de cinco pilares:

1. Identificación de riesgos
2. Reducción de riesgos
3. Preparación
4. Protección financiera
5. Recuperación resiliente

El acompañamiento de las autoridades en torno a lo institucional, político, normativo y financiero y la estrecha relación que guardan los pilares entre si propicia que se den los recursos apropiados, definición de roles y responsabilidades (CEPAL, 2019)



**Figura 4** *Planificación y gestión de riesgo de desastres (Bello, Bustamante , & Pizarro, 2020)*

### 2.2.4 Movimiento de masas

También conocidos como movimientos de ladera o fenómenos de remoción en masa se consideran una causa de generación de riesgos geológicos que atentan contra las

edificaciones, vías de transporte, cauces, embalses y a veces pueden afectar a poblaciones enteras.

Existen múltiples definiciones respecto al deslizamiento de tierras, pues las condiciones idiomáticas crean confusiones, es por ello que resulta necesario establecer un concepto claro. En ese sentido se trae a mención a Terzaghi (1950), el mismo que centra la definición en un desplazamiento vertiginoso de una masa de roca, suelo residual o sedimentos de una ladera, en el cual el centro de gravedad de la masa que se desplaza se mueve hacia abajo y hacia el exterior.

Por otro lado, en lo posterior Varnes (1958), considera que el movimiento hacia abajo de los materiales formadores de las laderas puede incluir materiales naturales y artificiales.

#### **2.2.4.1 Clasificación de los movimientos de masa**

Los procesos de remoción de masas están sujetos a una gran variedad de clasificaciones debido a su complejidad y del enfoque del estudio que se quiera abordar.

En general, se distinguen en función de los atributos morfológicos de los movimientos de la superficie de ruptura y del área de depósito. Otra clasificación puede considerarse en el tipo y velocidad del movimiento, tamaño y tipo de los materiales involucrados, antigüedad del movimiento, grado de actividad, y tipo climático (Alcántara, 2000).

En ese contexto, es por lo que se contempla la clasificación más aceptada a nivel internacional, la cual se basa en el mecanismo del movimiento, por lo que, de manera general, estos movimientos se dividen en:

- Caídas o desprendimientos
- Vuelcos o desplomes
- Deslizamientos
- Flujos
- Expansiones laterales
- Movimientos complejos

Estos a su vez pueden dividirse de acuerdo con los materiales formadores, los cuales pueden ser rocas, detritos o derrubios y suelos.

##### **2.2.4.1.1 Desprendimientos o caídas**

Los deslizamientos de este tipo son movimientos en caída libre de distintos materiales tales como rocas, detritos o suelos. Como lo menciona Alcántara (2000), este tipo de

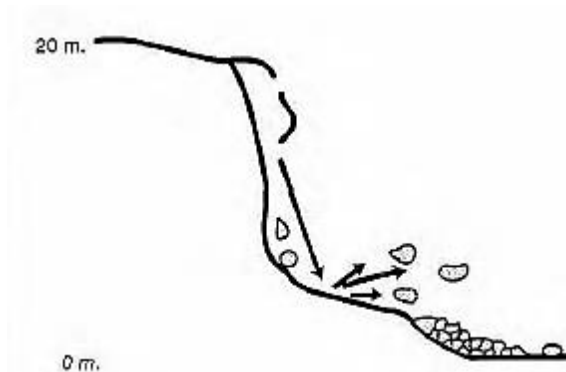
movimiento es originado por el desprendimiento del material de una superficie inclinada, el cual puede rebotar, rodar, deslizarse o fluir ladera abajo posteriormente.

No se considera dentro de este tipo de deslizamientos a las pequeñas partículas, resultado del intemperismo. Su distinción interna considera el criterio en base al material involucrado, por lo que se clasifican de manera general en:

- Caídas o desprendimiento de rocas
- Caídas o desprendimiento de detritos y
- Caídas o desprendimientos de suelos

Considerando por otro lado la velocidad de estos movimientos, pueden ser rápida o extremadamente rápida, con la excepción del caso en donde la masa que se desplaza socavamiento o incisión, y el desprendimiento o caída es precedida por deslizamientos o vuelcos que separan el material desplazado de la masa intacta (Cruden & Vanes, 1996).

El sitio común donde se producen estos deslizamientos es en laderas fuertemente inclinadas, tanto de tipo natural como artificial.



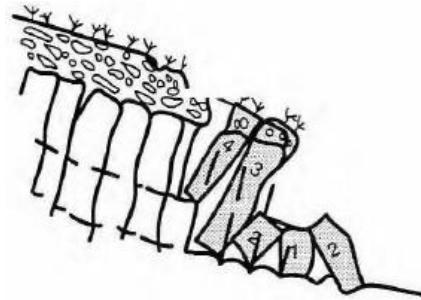
**Figura 5** Desprendimientos o caídas (Alcántara, 2000)

#### 2.2.4.1.2 Vuelcos o desplomes

Consiste en la rotación de una masa de suelo, detritos o roca en torno a un eje o pivote determinado por su centro de gravedad. El sentido de su movimiento es hacia adelante o hacia la parte externa, esto implica inclinación o basculamiento, pero no involucra que haya colapsamiento. Con frecuencia ocurren en una o más superficies, en materiales que poseen un sistema de discontinuidades preferencial como diaclasas, grietas de tensión o superficies columnares (Sedesol, 2010).



Pueden distinguir varios tipos, entre ellos, vuelcos o desplome de rocas, de derrubios o detritos y de suelos.



**Figura 6** *Vuelcos o desplomes* (Alcántara, 2000)

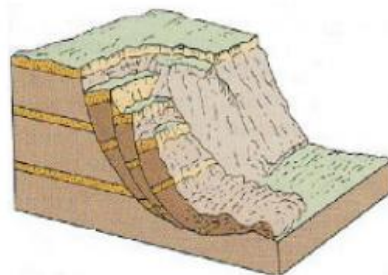
#### 2.2.4.1.3 Deslizamientos

Se refieren a movimientos ladera abajo de una masa de suelo, detritos o roca, la cual ocurre sobre una superficie reconocible de ruptura. Su identificación preliminar se la hace gracias a la formación de grietas transversales, estas se ubican en la zona que ocupará el escarpe principal (Alcántara, 2000).

Su clasificación depende de la superficie de ruptura, entonces por un lado se tiene a los deslizamientos rotacionales, caracterizados por ser de superficies curvas, cóncavas o en forma de cuchara, y por otro lado se tiene a los deslizamientos traslacionales, con superficies de ruptura semi planas u onduladas y por último las superficies planas a los deslizamientos planos.

Se puede acotar además que:

En los deslizamientos rotacionales, los bloques ubicados en la parte superior se inclinan hacia atrás, el escarpe principal regularmente es vertical, la masa desplazada se acumula ladera abajo y su deformación interna es de muy bajo grado. Movimientos posteriores al iniciar, pueden ocasionar el retroceso progresivo de la corona. La velocidad y extensión de este tipo de movimientos es muy variable (Alcántara, 2000, p. 11)



**Figura 7** *Desplazamiento Rotacional* (Skinner & Porter, 1992)

Por su parte también los deslizamientos traslacionales tienen un carácter menos profundo que los rotacionales y de la misma manera semejante a los deslizamientos planos, involucran un movimiento paralelo a la superficie, el cual está en gran medida controlado por superficies de debilidad de los materiales formadores.

Los deslizamientos rotacionales pueden clasificarse según las etapas del movimiento en simples, múltiples y sucesivos.

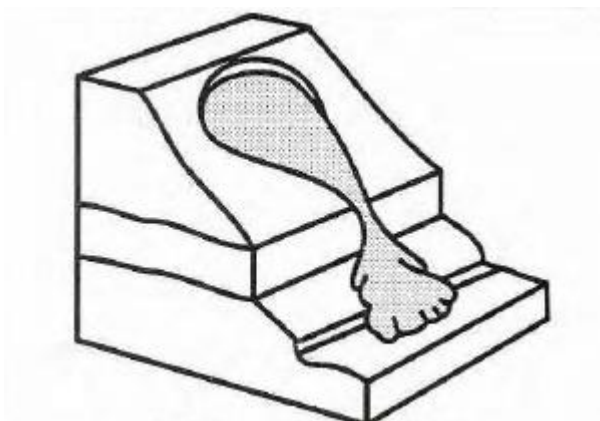
Los deslizamientos traslacionales por su parte se subdividen en deslizamientos de roca en bloque, deslizamientos de derrubio en bloque y deslizamientos traslacionales de suelos

Los deslizamientos planos se clasifican en simples términos a partir también del material involucrado, por lo cual los principales tipos son los deslizamientos de rocas, deslizamientos de derrubios y las coladas de barro.

#### **2.2.4.1.4 Flujos**

Los flujos se caracterizan por ser movimientos espacialmente continuos, donde las superficies de cizalla son muy próximas, de poca duración y, por consiguiente, difíciles de observar. Este tipo de movimiento es similar al de flujo viscoso, es por tanto que la distribución de velocidades no es homogénea lo que deriva en la formación de lóbulos a partir del predominio del movimiento intergranular (Alcántara, 2000).

Se pueden clasificar con base en su contenido pues envuelven todos los tipos de materiales disponibles, estos pueden ser: flujos de rocas, flujos o corrientes de derrubios y flujos de arena o suelo.



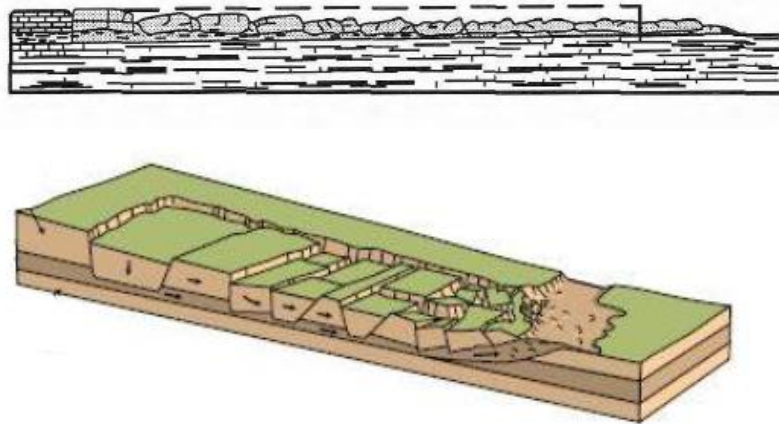
**Figura 8** *Flujos* (Alcántara, 2000)

#### 2.2.4.1.5 Expansiones laterales

Estos deslizamientos son el resultado de la fracturación y expansión de suelos o masas de roca compacta, debido a la licuefacción o fluidización del material subyacente. Tiene lugar en presencia de materiales gruesos, como fragmentos de rocas, grava, y que están inmersos en una matriz de material más fino o contienen arcillas (Guzman, 2022).

La masa involucrada se mueve rápida y retrogresivamente, además, la superficie de cizallamiento no está bien definida, por lo tanto, su duración puede ser hasta de algunos minutos.

El ambiente característico de este tipo de movimientos es principalmente en lacustres y marinos de poca profundidad, donde se localizan en las márgenes de los antiguos casquetes de hielo en las costas de Noruega, Alaska y Canadá. Se clasifican en expansiones laterales en rocas, en derrubios y en suelos (Alcántara, 2000).

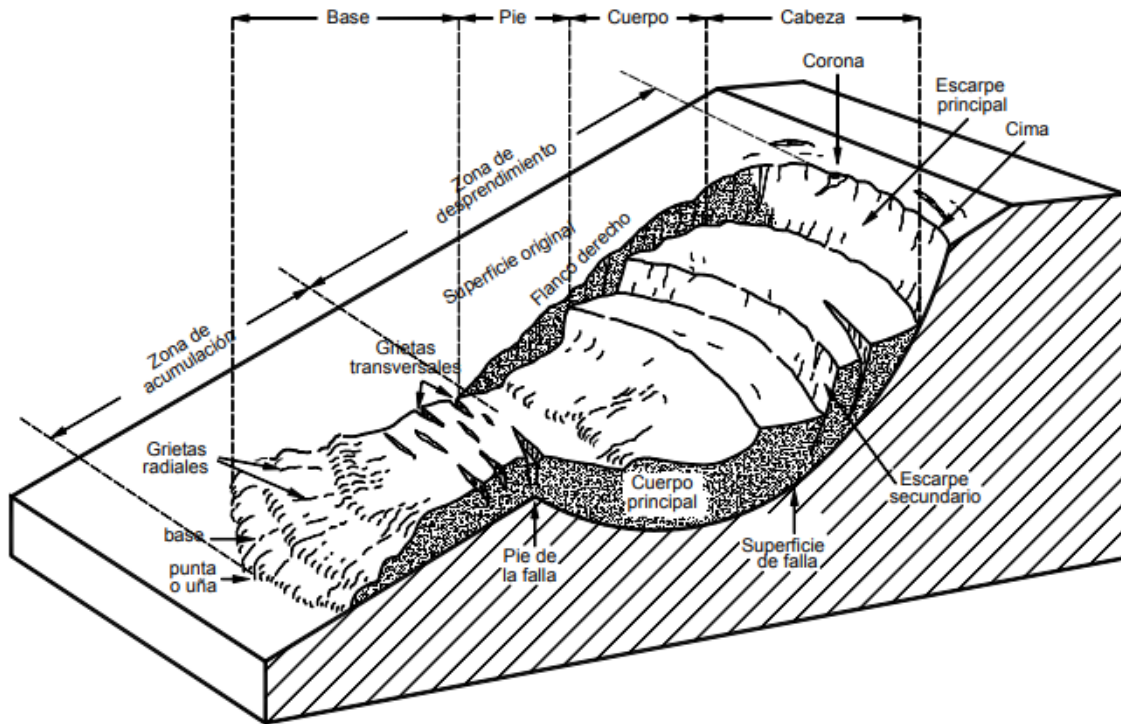


**Figura 9** *Expansiones Laterales (Alcántara, 2000)*

#### 2.2.4.1.6 Movimientos complejos

Un movimiento complejo se da cuando el tipo de movimiento inicial se transforma en otro a medida que va avanzando ladera abajo, entre los más importantes cabe destacar los aludes o avalanchas de rocas y los flujos deslizantes (Alcántara, 2000).

#### 2.2.4.2 Partes de un deslizamiento



**Figura 10** Partes que conforman un deslizamiento (Suárez, 2012)

#### **Cabeza**

Es la parte superior de la masa de material que se mueve. No se debe confundir con la cabeza del talud.

#### **Cima**

Se identifica como el punto más alto de la cabeza, durante el contacto entre el material perturbado y el eskarpe principal.

#### **Corona**

El material que se encuentra en el sitio, en condiciones inalteradas principalmente, adyacente a la parte más alta del eskarpe principal, por encima de la cabeza.

#### **Eskarpe principal**

Superficie muy inclinada a lo largo de la periferia posterior del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material. La continuación de la superficie del eskarpe dentro del material conforma la superficie de la falla (Cabrera, 2021).

### **Escarpe secundario**

Superficie muy inclinada producida por el desplazamiento diferencial dentro de la masa que se mueve. En un deslizamiento pueden formarse varios escarpes secundarios (Cabrera, 2021).

### **Superficie de falla**

Es el área por debajo del movimiento y que delimita el volumen del material desplazado. El suelo por debajo de la superficie de la falla no se mueve, mientras que el que se encuentra por encima de ésta, se desplaza. En algunos movimientos no hay superficie de falla (Cabrera, 2021).

### **Pie de la superficie de falla**

La línea de interceptación, la cual en ocasiones no es visible, entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.

### **Base**

El área cubierta por el material deslizado abajo del pie de la superficie de falla.

### **Punta o uña**

El punto de la base que se encuentra a más distancia de la cima.

### **Cuerpo principal del deslizamiento**

El material desplazado que se encuentra por encima de la superficie de falla.

### **Superficie original del terreno**

Es la superficie existente antes del suceso del movimiento.

## Derecha e izquierda

Para describir un deslizamiento se recomienda utilizar la orientación geográfica (Norte, Sur, Este, Oeste); pero si se emplean las palabras derecha e izquierda, deben referirse al deslizamiento observado desde la corona hacia el pie (Cabrera, 2021).

## Costado o flanco

Es un lado o perfil lateral del movimiento. Se debe diferenciar el flanco derecho y el izquierdo

### 2.2.4.3 Causas de un deslizamiento

Las causas que originan un deslizamiento se pueden agrupar en dos grupos, aquellas derivadas de la acción del hombre y las producidas por la naturaleza. En la siguiente tabla se describen las mismas.

**Tabla 1** Causas antrópicas de deslizamientos

<b>Factor</b>	<b>Descripción</b>
<i>Excavaciones</i>	Son realizadas para la construcción de viviendas, edificios, escuelas, puentes y carreteras.
<i>Explosiones</i>	Por actividades de la construcción o minería, al construir carreteras. Las vibraciones producidas actúan como pequeños temblores fracturando y debilitando las rocas.
<i>Sobrecargas como resultado del aumento de peso.</i>	Se produce debido a varios tipos de construcciones sobre el suelo: rellenos, terraplenes, acumulación de materiales y de agua.
<i>Actividad minera:</i>	Originada por la extracción de materiales a cielo abierto (canteras).

Fuente: Carranza (2020)

Las causas antrópicas se refieren a factores humanos que contribuyen a la generación o exacerbación de estos deslizamientos.

La combinación de estas actividades humanas con factores naturales, como la lluvia intensa o los terremotos, puede desencadenar deslizamientos de tierra. Es fundamental llevar a cabo una planificación adecuada del uso del suelo, la construcción segura y la gestión sostenible de recursos para mitigar el riesgo de deslizamientos causados por acciones humanas. (Carranza, 2020)

**Tabla 2** *Causas naturales de deslizamientos*

<b>Factor</b>	<b>Descripción</b>
<b><i>Condiciones de suelo y roca</i></b>	Suelos saturados de agua, escombros poco consolidados y rocas fracturadas pueden generar deslizamientos.
<b><i>Topografía</i></b>	La inclinación de las laderas es un factor determinante en la formación de deslizamientos. En general, mientras más grande es la pendiente, mayor es la amenaza por deslizamientos.
<b><i>Lluvia</i></b>	La cantidad y duración de la lluvia controlan la desestabilización de una ladera.
<b><i>Actividad Sísmica</i></b>	Cuando se produce un temblor se generan vibraciones que pueden afectar el equilibrio de las laderas y originar deslizamientos. Cuanto mayor sea la intensidad, duración y frecuencia de la actividad sísmica, mayor es la amenaza por deslizamientos.
<b><i>Actividad volcánica y meteorización hidrotermal</i></b>	La actividad volcánica generalmente está acompañada por deslizamientos durante o después del evento volcánico; estos se generan en las laderas del volcán mismo o en los depósitos de ceniza volcánica.
<b><i>Deforestación</i></b>	Las áreas deforestadas favorecen la erosión y facilitan la ocurrencia de deslizamientos.

Fuente: Carranza (2020)

Las causas naturales de deslizamientos de tierra son eventos o procesos que ocurren sin la intervención directa de actividades humanas.

Es importante destacar que los deslizamientos de tierra son a menudo el resultado de la interacción de múltiples factores naturales, y pueden ocurrir en combinación con causas antrópicas, como la urbanización en zonas propensas a deslizamientos. La comprensión de estas causas naturales es fundamental para la evaluación del riesgo y la implementación de medidas de mitigación. (Carranza, 2020)

### 2.2.5 Revisión histórica de deslizamientos en Riobamba

**Tabla 3** *Eventos de deslizamientos en el cantón Riobamba.*

<b>Fecha</b>	<b>Lugar</b>	<b>Descripción</b>
(1940)	La Parroquia de Cacha (primera parroquia indígena del Ecuador)	Desaparición del pueblo de Cacha, cerca de 5000 muertos aproximadamente.
(2006)	Riobamba, Químiag Parroquia San Juan	Ocasiónó la evacuación de la zona, las familias afectadas perdieron sus viviendas y cultivos. Muerte de algunos habitantes, así como también la pérdida de viviendas y unidades de producción agrícolas.
(2016)	Vía Riobamba – Macas	Deslizamiento de tierra bloqueó la vía en el tramo de La Kinsal, situado en los kilómetros 49 y 50.
(2017)	Vía Riobamba-Penipe	Deslave producto de las lluvias ha obstaculizado la carretera y por ello las autoridades piden tomar rutas alternas como la Riobamba-Mocha-Pelileo-Baños.
(2018)	Vía Riobamba – Alausí	Deslizamiento de tierra y piedras, lo que obstaculiza la vía en un 50%.
(2019)	Vía Riobamba-Cuenca	Un deslizamiento de tierra obstaculizó totalmente el paso en la vía, caudado por las fuertes lluvias que cayeron en ese sector, desde la madrugada.
(2021)	Vía Riobamba-Licto	Deslizamiento de tierra que obstruyó uno de los carriles de la carretera.



**Tabla 4** *Eventos de deslizamientos en la ciudad de Riobamba*

<b>Fecha</b>	<b>Lugar</b>	<b>Descripción</b>
(2015)	Barrio “La Primavera”	Lluvia debilito las bases de la pared y cayó en una casa ocasionando daños de 200 mil dólares aproximadamente

### **3 CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.**

#### **3.1 Tipo de Investigación**

##### **3.1.1 Investigación básica descriptiva**

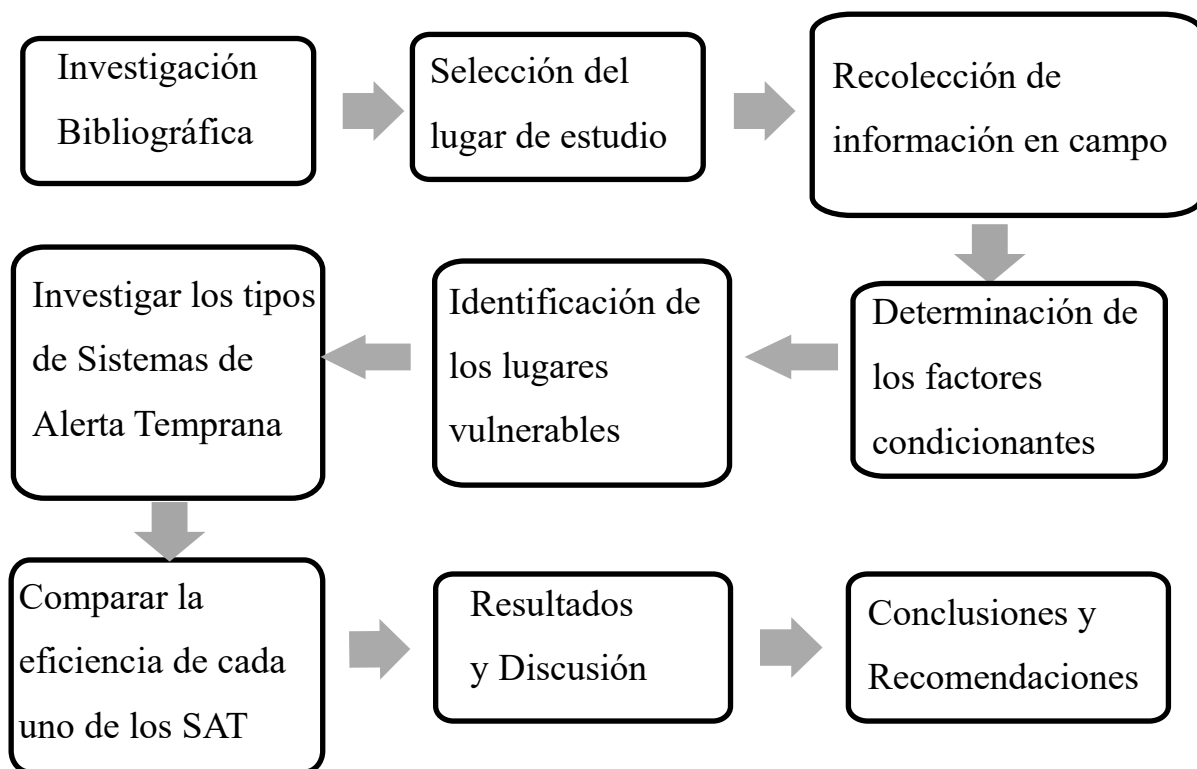
El objetivo principal de esta investigación es recopilar datos e información, aspectos o dimensiones de la situación de estudio (Nicomedes , 2019). Por lo mencionado se aplica al proyecto ya que se pretende la propuesta teórica de un Sistema de Alerta Temprana ante deslizamientos en la ciudad de Riobamba, por lo tanto, se entiende como una investigación diagnóstica o de levantamiento de datos. Con esta se contribuye a la toma de decisiones correctivas o preventivas.

#### **3.2 Diseño de Investigación**

Por las características del proyecto se considera una investigación de campo de tipo transversal descriptivo pues primero se considera de campo ya que se procede a recoger información de la población de estudio. En segundo lugar, es transversal descriptivo porque tiene la finalidad de describir la causa del fenómeno siendo este los deslizamientos sobre la comunidad. Es por ello que permite dimensionar el contexto y da a la comunidad una visión en este caso del procedimiento de los SAT.

La metodología de este proyecto abarca un conjunto de pasos esenciales. Inicia con una rigurosa investigación bibliográfica y revisión de la literatura para establecer un sólido contexto teórico. Luego, se procede a la selección del lugar de estudio y la recolección de información de campo, donde se determinan los factores condicionantes y se identifican los lugares vulnerables a deslizamientos. Posteriormente, se lleva a cabo una investigación exhaustiva de diversos sistemas de alerta temprana (SAT) para comparar su eficiencia frente a los deslizamientos y poder seleccionar uno de ellos para poder mostrar una guía e implementarlo en la ciudad de Riobamba. Los resultados se presentan y discuten detalladamente.

En la Figura 11 se puede observar la metodología que se empleó en el proyecto de investigación.



**Figura 11** Esquema del diseño de la investigación

### 3.3 Técnicas de recolección de Datos

**Revisión bibliográfica:** consiste en la búsqueda de información en diversas fuentes y bases de datos científicas, esta técnica permite describir los tipos de sistemas de alerta temprana y la comparación entre el mismo para la selección de la mejor alternativa y además constituye el marco teórico de la investigación.

**Técnica de campo:** esta se emplea para recabar la información del objeto de estudio en su contexto, en ese sentido permite extraer la mayor cantidad de información in situ.

### 3.4 Población de estudio y tamaño de muestra

Se contempla como población de estudio relacionada a la implementación de un Sistema de Alerta Temprana a la ciudad de Riobamba de la provincia de Chimborazo. Como muestra se consideró la zona que se encuentra en mayor riesgo tomando en cuenta el nivel de riesgo y la inclinación de la pendiente.

### 3.5 Métodos de análisis

El presente proyecto requiere de un análisis de información mixto, es decir cualitativo y cuantitativo. Por un lado, el análisis cualitativo en la que a partir de una valoración de parámetros tales como pendientes y formas le laderas se pretende llegar a formar un mapa de riesgo de deslizamientos en la ciudad de Riobamba.

De la misma manera el análisis cuantitativo de la información se lleva a cabo a través de la asignación de un valor a cada una de las variables para la evaluación del riesgo.

#### 3.5.1. Metodología para evaluación de riesgos

Para la evaluación del riesgo fue considerado como una función de la amenaza, dada por la interrelación susceptibilidad/probabilidad de ocurrencia; y de la vulnerabilidad obtenida considerando la probabilidad de que el deslizamiento impacte a los elementos expuestos y produzca daños en sus estructuras.

##### 3.5.1.1.1 Escala de valoración

Se considera una escala valorativa o factor de influencia un valor entre 0 y 5, siendo 5 una influencia alta.

##### 3.5.1.2 Coeficiente de influencia de la amenaza (CIA)

Se determina mediante:

$$CIA = \frac{\text{Valor de influencia} \times 5}{\sum \text{Valores de influencia}}$$

**Tabla 5** Coeficiente de influencia de la amenaza (CIA)

Factores detonantes	Valor de influencia	CIA
---------------------	---------------------	-----

Nota : Tomado de (ACUÑA, DÍAZ, & FORERO, 2019)

##### 3.5.1.3 Coeficiente de influencia de vulnerabilidad (CIV)

Se determina mediante:

$$CIV = \frac{\text{Valor de influencia} \times 5}{\sum \text{Valores de influencia}}$$

**Tabla 6** *Coefficiente de influencia de vulnerabilidad (CIV)*

Elementos expuestos	Valor de influencia	CIV
---------------------	---------------------	-----

*Nota : Tomado de (ACUÑA, DÍAZ, & FORERO, 2019)*

### 3.5.1.4 Evaluación de la amenaza

**Tabla 7** *Evaluación de la amenaza*

Factor	Categoría	Amenaza		Factor de Talud influencia
		Subcategoría	Valoración	

*Nota : Tomado de (ACUÑA, DÍAZ, & FORERO, 2019)*

$$\text{Valores del talud} = \text{Valor de valoración} \times \text{factor de influencia}$$

### 3.5.1.5 Evaluación de la vulnerabilidad física

**Tabla 8** *Evaluación de la vulnerabilidad física*

Vulnerabilidad Física					
Factor	Afectación	Valoración	Protección	Valoración	Factor de Talud influencia

*Nota : Tomado de (ACUÑA, DÍAZ, & FORERO, 2019)*

$$\text{Valores talud} = \frac{\text{Valoración}}{\text{Valor protección}} \times \text{valor protección} \times \text{factor de influencia}$$

### 3.5.1.6 Nivel de riesgo asociado a la vulnerabilidad física

$$\text{Nivel de riesgo} = \sum \text{Vulnerabilidad} \times \sum \text{Amenaza} \times \sum \text{Probabilidad de ocurrencia}$$

## 3.5.2 Revisión y análisis de sistemas SAT

Existen dos tipos de SAT:

- Sistemas de Alerta comunitarios
- Sistemas de Alerta tecnológicos

### 3.5.2.1 SAT COMUNUTARIO

El propósito de los sistemas de alerta centrados en las personas es capacitar a los individuos y comunidades en riesgo, brindándoles la oportunidad de tomar medidas adecuadas y oportunas. Esto busca disminuir la probabilidad de sufrir pérdidas humanas, daños a la propiedad, al medio ambiente y a los medios de subsistencia.

**Tabla 9** *Ventajas y Desventajas de los sistemas comunitarios*

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Conocimiento local:</b> Los sistemas de alerta temprana comunitarios aprovechan el conocimiento local y la experiencia de los miembros de la comunidad. Esto permite una mayor comprensión de los riesgos específicos y una respuesta más rápida y adaptada a las necesidades de la comunidad.	<b>Falta de recursos:</b> Los sistemas de alerta temprana comunitarios pueden enfrentar desafíos en términos de recursos limitados. Puede haber una falta de financiamiento, tecnología o capacitación adecuada, lo que dificulta su implementación y mantenimiento.
<b>Respuesta rápida:</b> Al estar integrados en la comunidad, los sistemas de alerta temprana comunitarios pueden proporcionar una respuesta más rápida ante situaciones de riesgo. Los miembros de la comunidad pueden alertarse y actuar de inmediato, sin depender únicamente de las autoridades externas.	<b>Limitaciones de cobertura:</b> Los sistemas de alerta temprana comunitarios pueden tener limitaciones en términos de cobertura geográfica. Si no todos los miembros de la comunidad están involucrados o informados, algunos individuos pueden quedar excluidos de la recepción de alertas y no estar preparados para responder adecuadamente.
<b>Fomento de la resiliencia:</b> Los sistemas de alerta temprana comunitarios promueven la resiliencia al involucrar activamente a los miembros de la comunidad en la planificación y preparación para situaciones de riesgo. Esto fortalece los lazos comunitarios, la colaboración y el sentido de responsabilidad colectiva.	<b>Falta de capacitación:</b> Si la comunidad no recibe la capacitación adecuada sobre cómo interpretar las señales de alerta, tomar medidas de seguridad y coordinar la respuesta, la efectividad del sistema puede verse comprometida. Es importante contar con una capacitación continua y accesible para todos los miembros de la comunidad.
<b>Costos reducidos:</b> Los sistemas de alerta temprana comunitarios pueden ser más económicos en comparación con sistemas	<b>Posible falta de estandarización:</b> La falta de estandarización en los sistemas de alerta temprana comunitarios puede generar

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
centralizados y tecnológicamente avanzados. Pueden aprovechar recursos locales y soluciones simples, como alarmas locales, sistemas de comunicación existentes y capacitación interna.	inconsistencias en los protocolos y dificultades en la coordinación con las autoridades externas. Es importante establecer una comunicación efectiva y una colaboración adecuada con las instituciones pertinentes.

La participación y el compromiso de la comunidad, así como la coordinación con las autoridades locales, son elementos clave para maximizar la efectividad de estos sistemas.

### 3.5.2.2 SAT TECNOLÓGICOS

Los sistemas de alerta temprana tecnológicos utilizan tecnología avanzada para detectar eventos peligrosos o situaciones de emergencia y enviar alertas rápidas y precisas a las comunidades en riesgo. Estos sistemas pueden incluir sensores, redes de comunicación, algoritmos de procesamiento de datos y aplicaciones móviles, entre otros componentes.

**Tabla 10** Ventajas y Desventajas de los Sistemas de Aleta Tecnológicos

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Detección precisa:</b> Los sistemas de alerta temprana tecnológicos utilizan tecnología avanzada, como sensores, satélites, radares y modelos de pronóstico, lo que les permite detectar y monitorear eventos peligrosos con alta precisión. Esto permite una mayor confiabilidad en la emisión de alertas y una respuesta más efectiva.	<b>Costo y mantenimiento:</b> La implementación y el mantenimiento de sistemas de alerta temprana tecnológicos pueden ser costosos. Requieren inversiones significativas en infraestructura, adquisición de equipos y capacitación del personal técnico. Además, se necesita un mantenimiento regular para garantizar su funcionamiento óptimo.
<b>Cobertura amplia:</b> Los sistemas de alerta temprana tecnológicos pueden abarcar áreas extensas, incluso regiones enteras o incluso a nivel nacional. Pueden proporcionar alertas a una gran cantidad de personas y comunidades, asegurando que la información llegue a un público amplio y diverso.	<b>Dependencia de la tecnología:</b> Los sistemas de alerta temprana tecnológicos dependen de la infraestructura tecnológica y la disponibilidad de energía. En caso de fallas de energía, problemas técnicos o interrupciones en las comunicaciones, la efectividad de los sistemas puede verse comprometida.

Ventajas	Desventajas
<p><b>Rapidez en la difusión:</b> La tecnología permite una rápida difusión de las alertas a través de diversos canales, como mensajes de texto, aplicaciones móviles, redes sociales, sirenas, sistemas de megafonía, entre otros. Esto garantiza que las personas reciban rápidamente la información y puedan tomar las medidas necesarias.</p>	<p><b>Falta de conciencia y respuesta adecuada:</b> Aunque los sistemas de alerta temprana tecnológicos pueden proporcionar alertas precisas y rápidas, su efectividad depende de la conciencia y la respuesta adecuada de las personas. Si los destinatarios no están informados, no tienen acceso a la tecnología o no toman en serio las alertas, la efectividad del sistema puede verse comprometida.</p>
<p><b>Integración de datos y análisis:</b> Los sistemas de alerta temprana tecnológicos pueden integrar datos de diferentes fuentes y realizar análisis en tiempo real para evaluar el riesgo y emitir alertas personalizadas. Esto permite una mayor precisión y adaptabilidad en la emisión de alertas.</p>	<p><b>Posible marginación de comunidades vulnerables:</b> A veces, las comunidades más vulnerables pueden tener acceso limitado a la tecnología o pueden estar excluidas de los sistemas de alerta temprana tecnológicos debido a barreras lingüísticas, socioeconómicas o geográficas. Es importante garantizar que todos tengan acceso equitativo a las alertas y a las medidas de protección.</p>

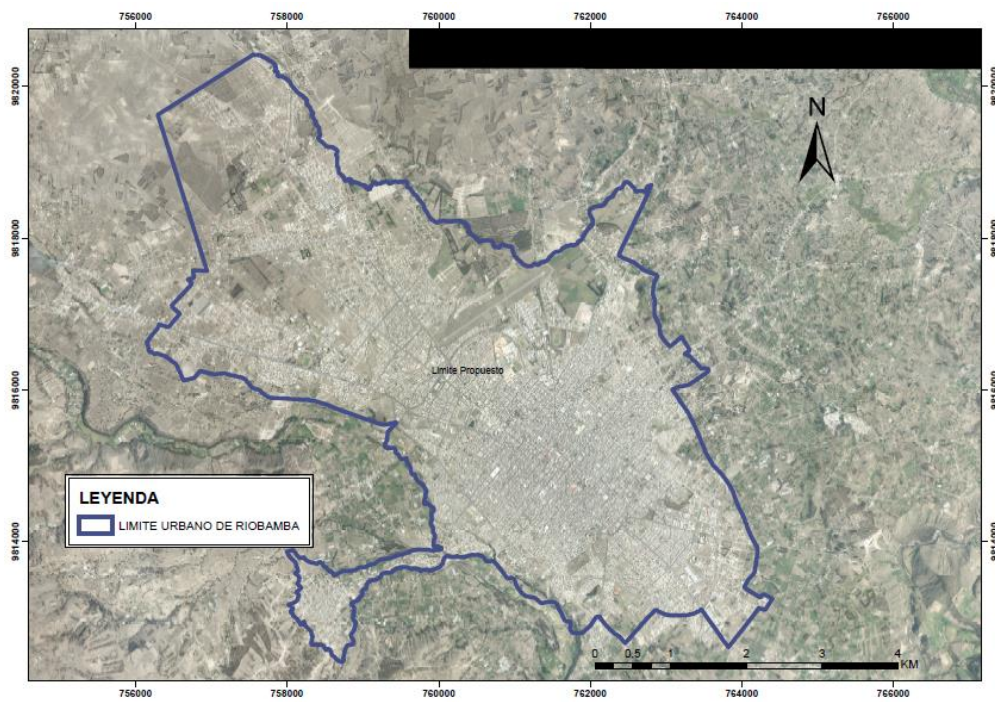


## 4 CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

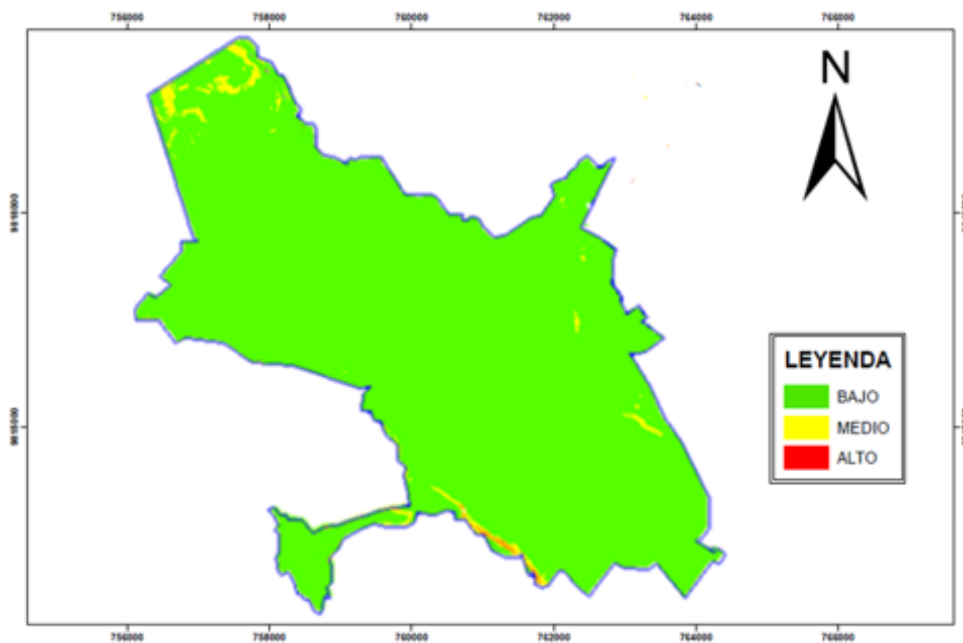
### 4.1 Procesamiento de datos

Las etapas consideradas para el procesamiento de datos consisten en

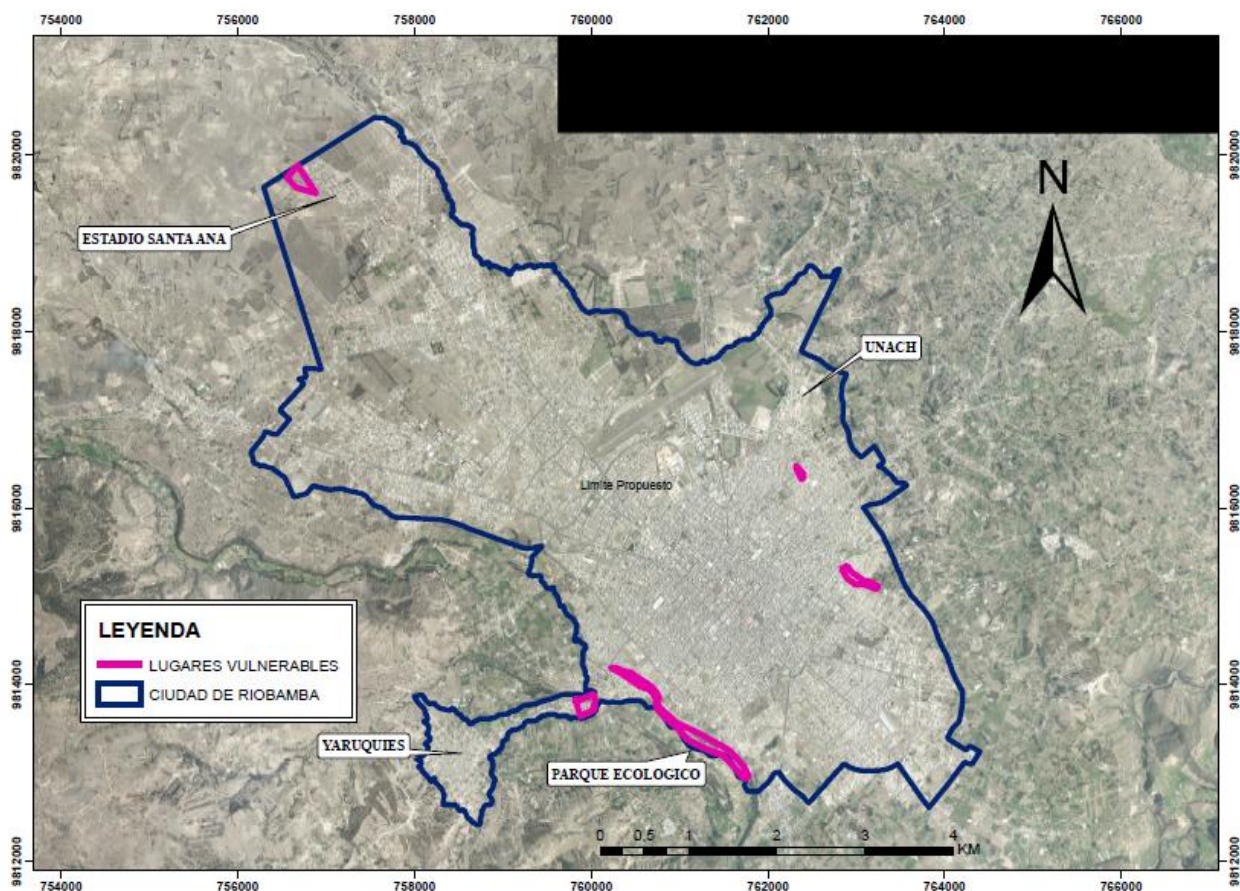
#### 4.1.1 Esquematización y mapeo de resultados



**Figura 12** Límite Urbano de Riobamba (MUNICIPIO DE RIOBAMBA)



**Figura 13** Mapa de Riesgo por Movimiento de Masa (Geoportal Municipio de Riobamba)



**Figura 12** Identificación de los Lugares Vulnerables

En la Figura 12 muestra los lugares vulnerables en los que se va a realizar el levantamiento de información.

#### 4.1.2 Nivel de riesgo asociado a la Vulnerabilidad Física

##### 4.1.2.1 Realizar una determinación del coeficiente de influencia de amenaza

**Tabla 11** Coeficiente de influencia de la amenaza (CIA)

Factores detonantes	Valor de influencia	CIA
Pendiente	5	1,19
Precipitación	3	0,71
Uso del suelo	4	0,95
Acción antrópica	5	1,19
Actividad sísmica	4	0,95
Total	21	5

La tabla 11 indica los datos necesarios para obtener el coeficiente de influencia de la amenaza, en el valor de influencia se dará una valoración de 0 a 5, siendo 5 una influencia alta.

#### 4.1.2.2 Determinar coeficiente de influencia de vulnerabilidad

**Tabla 12** Coeficiente de influencia de vulnerabilidad (CIV)

Elementos expuestos	Valor de influencia	CIV
Estructural	5	1,47
Vía Vehicular	5	1,47
Redes eléctricas	4	1,18
Redes de agua potable	3	0,88
Total	17	5

La tabla 12 indica los datos necesarios para obtener el coeficiente de influencia de vulnerabilidad, en el valor de influencia se dará una valoración de 0 a 5, siendo 5 una influencia alta.

#### 4.1.2.3 Evaluación de la amenaza

Los datos necesarios en la tabla 14 para la evaluación de la amenaza corresponde al elemento que produce la misma, se toma en cuenta una categoría y sub categoría para su análisis y su valoración va de 0 a 5, siendo 5 en las alto.

**Tabla 13** Evaluación de la amenaza

Factor	Categoría	Subcategoría	Valoración	Factor de influencia	Talud
<b>Pendiente</b>	0°-3°	Muy Plano	1	1,19	4,76
	3°-7°	Plano	1		
	7°-12°	Semiondulado	1		
	12°-25°	Ondulado	2		
	25°-50°	Muy Ondulado	3		
	50°-75°	Escarpado	4		
	>75°	Muy Escarpado	5		

<b>Factor</b>	<b>Categoría</b>	<b>Subcategoría</b>	<b>Valoración</b>	<b>Factor de influencia</b>	<b>Talud</b>
	<1000mm	Muy Bajo	1		
	1000mm-1300mm	Bajo	2		
<b>Precipitación</b>	1300mm-1600mm	Medio	3	0,71	2,14
	1600mm-2000mm	Alto	4		
	>2000mm	Muy Alto	5		
	Cuerpo de Agua		1		
	Bosque Nativo		1		
<b>Cobertura y uso de Suelo</b>	Plantación Forestal		2	0,95	2,86
	Infraestructura		2		
	Mosaico Agropecuario		3		
	Área poblada		2		
		Con Diseño	2		
		Sin Diseño	3		
<b>Acción Antrópica</b>	Construcciones	En zonas inestables	4	1,19	3,57
		En zonas falladas	5		
		Muy Cercana <1 Km	5		
		Cercana entre 1 -3,5 Km	4		
<b>Actividad Sísmica</b>	Proximidad a la falla de más cercana	Cercanía moderada entre 3,5 y 5,5 Km	3	0,95	3,81
		Distante entre 5,5 Y 7 Km	2		
		Muy Distante > 7 Km	1		
					17,14

Para la evaluación de la amenaza luego de dar una valoración a cada una de las categorías y subcategorías se obtiene un valor de 17,14, el cual es necesario para obtener el nivel de riesgo.

#### 4.1.2.4 Evaluación de la vulnerabilidad física

**Tabla 14** Evaluación de la Vulnerabilidad Física

Factor	Afectación	Valoración	Protección	Valoración	Factor de influencia	Talud			
<b>Estructural, residencial e institucional</b>	Muy Alta	5	Con Diseño	5	1,47	5,88			
			Sin Diseño	2					
	Alta	4	Concreto	5					
			Ladrillo	4					
	Media	3	Madera	3					
			Daños ligeros no estructurales	4					
	Baja	2	Daños Importantes	2					
			Muy Baja	1			Daños Graves	1	
	<b>Vías Vehiculares</b>	Muy Alta	5	Pavimentada			5	1,47	4,41
				Alta			4		
Media		3	Con tratamiento superficial	3					
			Baja	2	Sin tratamiento superficial	2,5			
Muy Baja		1	Con Diseño	3					
			Sin Diseño	2,5					
Muy Baja		1	Obstrucción de la vía	2					
			Destrucción total de la vía	1					
<b>Redes Eléctricas</b>		Muy Alta	5	Postes en Concreto	2	1,18	3,53		
				Postes en madera	1				
	Alta	4	Postes en acero	3					
			Redes Subterráneas	4					
	Media	3	Redes Aéreas	2					
			Planta de energía	4					
	Baja	2	Subestación eléctrica	4					
	Muy Baja	1	Sistema móvil	2					
			Tubería de Concreto	1					
	Muy Alta	5	Tubería en PVC	2					
Tubería en Asbesto Cemento			3						
Alta	4	Tubería en gres	1	0,88	2,65				

<b>Factor</b>	<b>Afectación</b>	<b>Valoración</b>	<b>Protección</b>	<b>Valoración</b>	<b>Factor de influencia</b>	<b>Talud</b>
<b>Redes de Agua Potable</b>	Media	3	Tubería en Asbesto Cemento	3		16,47
			Tubería Metálica	3		
			Tubería en Polietileno	3		
	Baja	2	Tubería en Bronce	3		
			Tubería Galvanizada	1		
	Muy Baja	1	Sin Válvula de cierre cercana	1		
			Con Válvula de cierre cercana	5		
			Con Diseño	5		
			Sin Diseño	1		

La vulnerabilidad física implica identificar de manera precisa cómo los elementos expuestos se ven afectados, proporcionando un rango y una valoración según el material que compone dichos elementos. De este modo, se calcula un valor de 16,47, que, junto con la evaluación de la amenaza, se empleará en la ecuación del RVF para determinar el nivel de riesgo.

#### 4.1.2.5 Determinación del nivel de riesgo

Para determinar el nivel de riesgo se evaluaron 5 zonas (Anexo 1) obteniendo los siguientes resultados

**Tabla 15** Amenaza y Vulnerabilidad por sectores

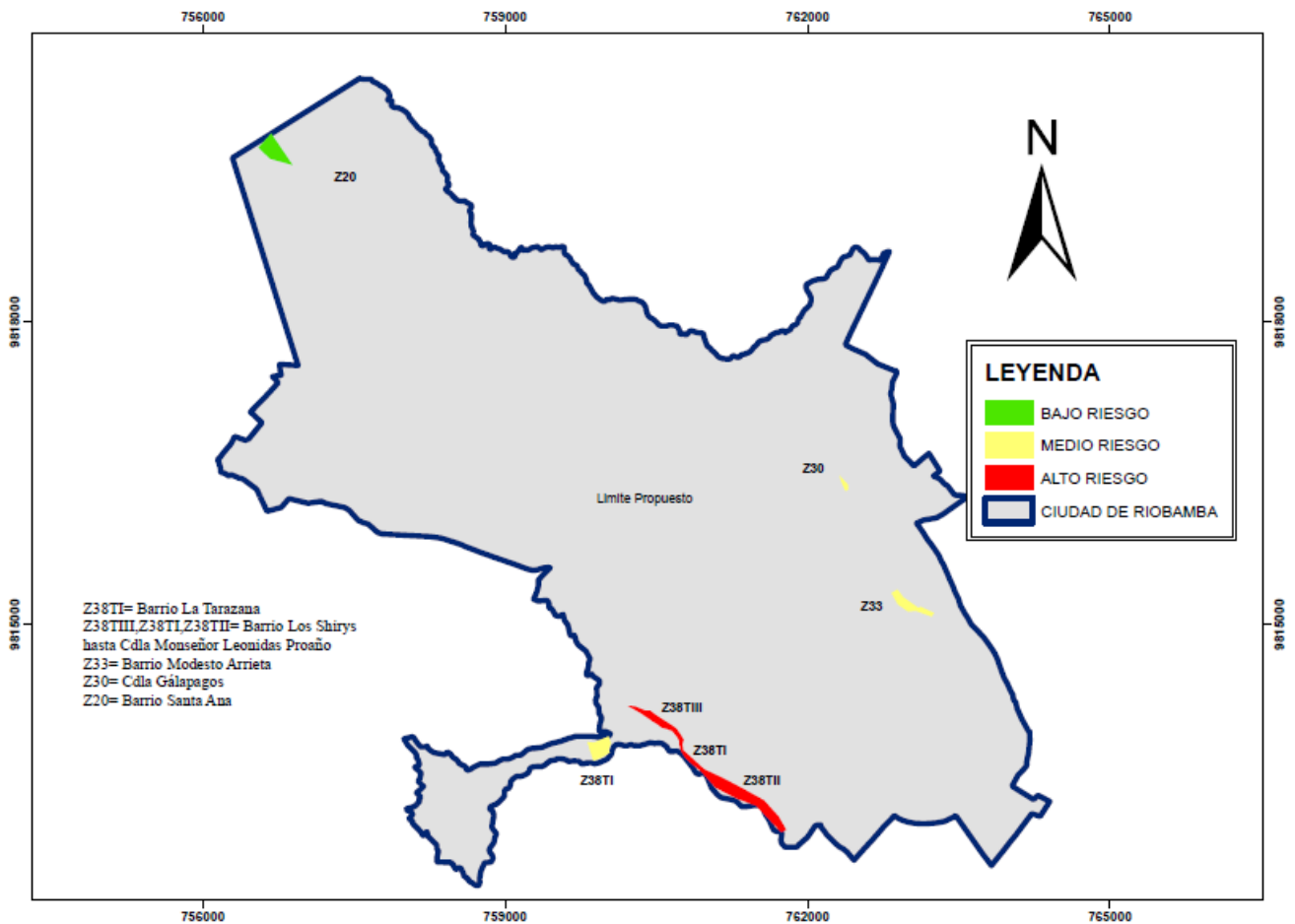
<b>Sector</b>	<b>Amenaza</b>	<b>Vulnerabilidad</b>	<b>Probabilidad de ocurrencia</b>	<b>Nivel de Riesgo</b>
Z38TI	15,31	13,21	0,1	20,23
Z38TI, Z38TII, Z38TIII	17,14	16,47	0,1	28,24
Z33	10,91	9,50	0,1	10,36
Z30	12,50	11,67	0,1	14,58
Z20	8,82	6,67	0,1	5,88

Con los resultados obtenidos se determinó que la zona con mayor riesgo de deslizamientos es el Sector 2 dándonos un nivel de riesgo de 28,24.

**Tabla 16 Niveles de Riesgo**

Nivel de Riesgo	Rango
ALTO	> 21
MEDIO	13 - 21
BAJO	<13

En la tabla 17 se muestra los rangos de los niveles de riesgo, en este caso el Sector 2 obtiene como nivel de riesgo un rango alto > 21, entendiéndose que el riesgo asociado a la vulnerabilidad física es alto, por lo tanto, se producirán graves daños en cuanto a estructuras, economía, etc.



**Figura 14 Mapa de Riesgo de deslizamiento**

Con los resultados obtenidos se pudo determinar la zona de estudio para poder implementar el SAT ante deslizamientos siendo este el Sector 2.

## 4.2 Comparación de los SAT

**Tabla 17** *Comparación de los SAT*

<b>Aspecto</b>	<b>Sistemas de Alerta Temprana Comunitarios</b>	<b>Sistemas de Alerta Temprana Tecnológicos</b>
<b>Base de Operación</b>	Centrado en la comunidad y participación ciudadana.	Basado en infraestructura tecnológica y automatización.
<b>Fuentes de Información</b>	Observaciones locales, experiencia y conocimiento.	Sensores, monitoreo satelital, datos climáticos, etc.
<b>Acceso a Tecnología</b>	No requiere tecnología sofisticada ni Internet.	Requiere tecnología avanzada y acceso a Internet.
<b>Velocidad de Detección</b>	Puede variar según la percepción humana.	Rápido y en tiempo real, dependiendo de la tecnología.
<b>Alcance de la Cobertura</b>	Suelen cubrir áreas locales y cercanas.	Pueden abarcar áreas extensas y geográficamente dispersas.
<b>Tipo de Amenazas</b>	Centrados en amenazas locales conocidas.	Pueden detectar y alertar sobre diversas amenazas.
<b>Flexibilidad y Adaptabilidad</b>	Capacidad de adaptarse rápidamente a situaciones específicas.	Pueden ser actualizados y mejorados tecnológicamente.
<b>Costo</b>	Generalmente de bajo costo, con apoyo comunitario.	Suelen ser más costosos debido a la tecnología involucrada.
<b>Interacción Humana</b>	Requiere una comunicación activa entre miembros de la comunidad.	La interacción humana puede ser limitada a operaciones.
<b>Confianza en la Información</b>	Confianza basada en el conocimiento local y experiencia.	Confianza en la precisión y calidad de los datos tecnológicos.
<b>Escalabilidad</b>	Puede tener limitaciones para expandirse a gran escala.	Pueden ser altamente escalables para cubrir grandes áreas.



### **4.2.1 Selección del sistema SAT**

Al seleccionar un sistema de alerta temprana ante deslizamientos, es importante considerar varios criterios para asegurar su eficacia y adecuación a las necesidades de la comunidad.

El sistema debe ser preciso y confiable en la detección y emisión de alertas tempranas de deslizamientos. Debe estar respaldado por tecnologías y métodos de monitoreo confiables que proporcionen datos precisos sobre las condiciones del terreno y los posibles deslizamientos. Además, el sistema debe tener una capacidad de detección temprana y proporcionar alertas con suficiente antelación para que la comunidad tome acciones preventivas o evacuaciones necesarias. Un tiempo de respuesta rápido es esencial para minimizar el riesgo y permitir una respuesta adecuada (Córdova & Bonilla, 2018).

El sistema debe ser adaptable a las características geográficas y climáticas específicas de la región. Debe ser capaz de adaptarse a diferentes tipos de terreno y condiciones locales. Además, debe ser escalable, lo que significa que puede crecer y adaptarse a medida que aumente la cobertura y la población que se beneficie del sistema. También, el sistema debe ser accesible y fácil de usar para la comunidad. Esto implica utilizar tecnologías y métodos de comunicación que sean ampliamente accesibles para la población, como mensajes de texto, llamadas telefónicas, aplicaciones móviles o sistemas de sirenas. La interfaz y las instrucciones deben ser claras y comprensibles para garantizar que las personas puedan recibir y comprender las alertas (Salas, 2016).

Es importante evaluar los costos asociados con la implementación, operación y mantenimiento del sistema de alerta temprana. Debe haber una evaluación de la viabilidad económica y la sostenibilidad a largo plazo del sistema. Se debe tomar en cuenta que el sistema de alerta temprana debe integrarse con los organismos y entidades responsables de la gestión de desastres, como agencias gubernamentales, servicios de emergencia y otras organizaciones relevantes. La coordinación efectiva y la comunicación entre estas entidades son fundamentales para garantizar una respuesta adecuada y una atención oportuna a las alertas emitidas. (Córdova & Bonilla, 2018)

La implementación de un sistema de alerta temprana debe ir acompañada de programas educativos y campañas de sensibilización para informar y capacitar a la comunidad sobre los riesgos de los deslizamientos, cómo responder a las alertas y cómo

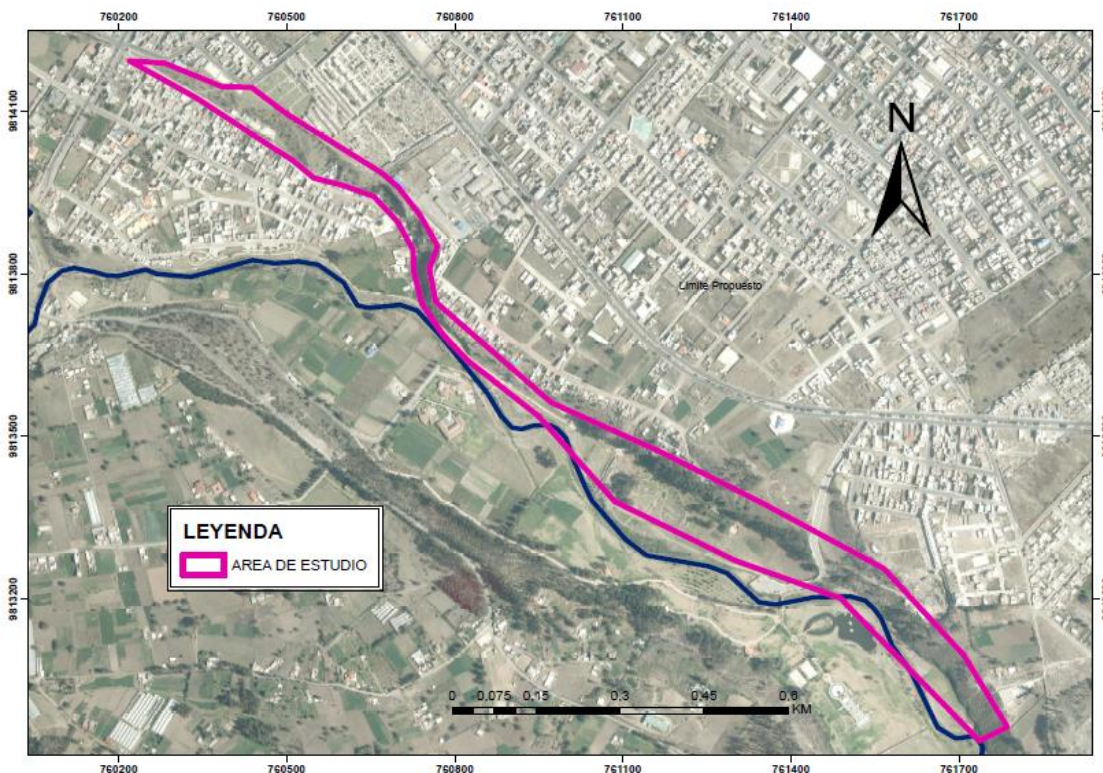
tomar medidas preventivas. La participación activa y el conocimiento de la comunidad son fundamentales para el éxito del sistema de alerta temprana.

Al considerar estos criterios, se puede seleccionar un sistema de alerta temprana ante deslizamientos que se ajuste mejor a las necesidades y características de la comunidad, y que contribuya a la reducción del riesgo y la protección de la vida y la propiedad.

Por todo lo antes mencionado se optó un sistema de alerta mixto, es decir que involucrará a la comunidad y a instrumentos tecnológicos.

#### 4.2.2 Desarrollo de la propuesta

El propósito de esta investigación es desarrollar un Sistema de Alerta Temprana de deslizamientos de tierra inducidos por lluvias en Ciudad de Riobamba. En la misma que se realizó una inspección visual de los lugares vulnerables ante deslizamientos, seleccionando como lugar de estudio e implementación de SAT el sector detrás del cementerio de la ciudad comprendido entre los barrios los Shirys hasta la Cdla. Monseñor Leónidas Proaño. Se seleccionó esta área debido a su ubicación geográfica y al riesgo inminente debido a la sobrepoblación y a un análisis del nivel de riesgo.



**Figura 15** Zona de Análisis

El objetivo es establecer un SAT que pueda detectar y notificar la presencia de deslizamientos de tierra por lluvias en la localidad. Para lograr esto, se implementará una red de sensores en las zonas propensas a deslizamientos. El mayor desafío radica en recolectar e interpretar de manera clara toda la información proporcionada por la red de sensores para tomar decisiones rápidas.

El método utilizado implica el diseño de una red de sensores que mida la humedad del suelo y las precipitaciones diarias antes que se produzca el deslizamiento, brindando un tiempo adecuado para informar a la comunidad sobre la evacuación inmediata de sus viviendas.

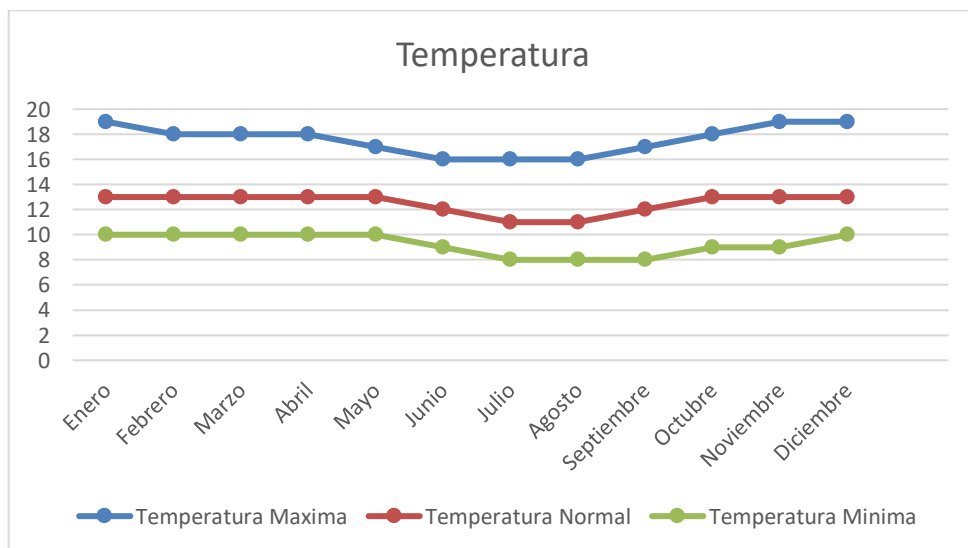
Este estudio se realizó en el barrio lo Shirys hasta la Clda. Monseñor Leónidas Proaño, la extensión total del área de estudio es 140056,53 m<sup>2</sup>, dado el alto riesgo de deslizamientos de tierra en esta área, se construirá una estación base para recopilar información que contribuya a reducir la afectación.

En términos de características físicas,

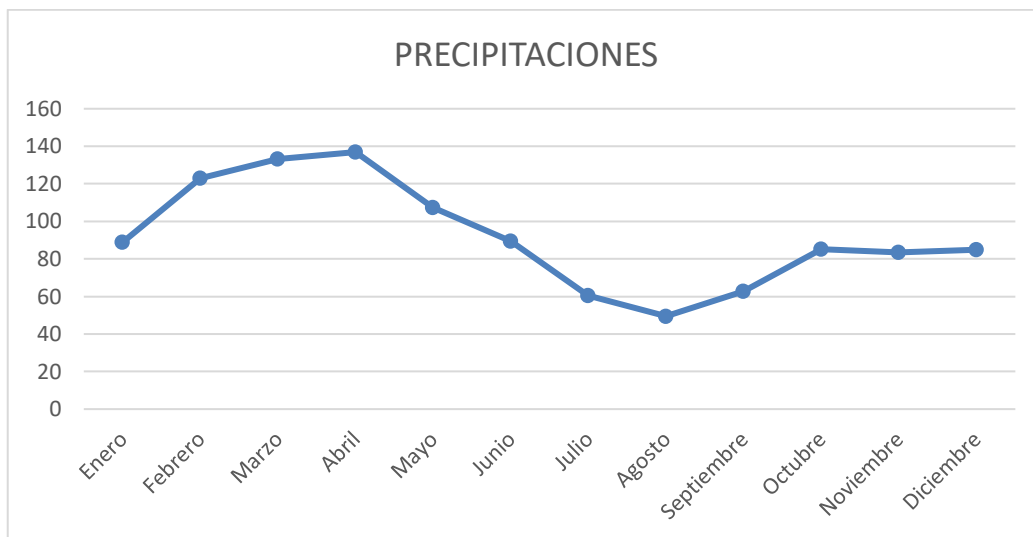
Temperatura promedio anual = 13,5 grados Celsius.

Humedad relativa = seca y semiseca,

Precipitación total= 1304,87 mm



**Figura 16** Temperatura en Riobamba



**Figura 17** *Precipitaciones en Riobamba*

Los sensores son dispositivos Hardware que generan una respuesta medible ante un cambio en las condiciones físicas, como temperatura, presión y humedad. Estos dispositivos detectan o miden los cambios físicos en el área que están monitoreando. La señal analógica detectada se convierte en una señal digital mediante un convertidor analógico-digital y se envía a un controlador para su procesamiento. (Gutierrez, Bornachera, & Mosquera, 2018)

Los sensores deben cumplir con ciertas características y requisitos, como tener un tamaño pequeño, consumir poca energía, operar en espacios reducidos, ser autónomos y poder adaptarse al entorno. Los sensores pueden clasificarse en tres categorías:

**Sensores pasivos omnidireccionales:** captan los datos sin necesidad de manipular el entorno. Son autoalimentados y solo usan la energía para amplificar la señal analógica captada. No hay ninguna noción de ‘dirección’ involucrada en estas mediciones.

**Sensores pasivos unidireccionales:** tienen bien definida la dirección desde donde deben captar la información. Un ejemplo típico es una cámara.

**Sensores activos:** sondean el ambiente, por ejemplo, un radar o un sonar o algún tipo de sensor sísmico que genera ondas expansivas a través de pequeñas explosiones. (Gutierrez, Bornachera, & Mosquera, 2018)

En este proyecto específico, se utilizaron sensores activos debido a que proporcionan información en tiempo real las veinticuatro horas del día y emiten alertas en caso de emergencia.

Los nodos de red de sensores (WSN, por sus siglas en inglés) suelen organizarse en una de tres topologías de red. En este proyecto, se optó por utilizar una configuración de topología en forma de estrella, debido a que es una configuración de red en la que todos los dispositivos están conectados directamente a un punto central, conocido como el nodo central o la puerta de enlace. Cada dispositivo en la red se conecta a este punto central, lo que permite una comunicación eficiente entre todos los dispositivos a través de un solo salto. Esta topología es comúnmente utilizada en redes Ethernet y redes inalámbricas, como Wifi. (Córdova & Bonilla, 2018)

Se utilizó tecnología GSM ya que es un sistema estándar de comunicación utilizando mensajes de texto cortos que facilitará el envío de los datos monitoreados; para el registro de datos en internet se utilizará la plataforma IOT open source ThingSpeak que es una aplicación que sirve para almacenar y recuperar datos a través de protocolos http, además permite una interacción entre dispositivos electrónicos y personas.

Los sensores utilizados en el proyecto fueron el sensor de humedad FC28, el sensor de temperatura y humedad relativa HDT11 y un pluviómetro de balancín, que conjuntamente con Arduino Mega, tarjeta GSM SIM900, Chip, tarjeta Shield Ethernet, un router para conectarse a internet, un servidor y una sirena, son los componentes claves para realizar un SAT ante deslizamientos.

Para el desarrollo del proyecto, se creará ocho estaciones de transmisión de información cada una será capaz de medir la humedad del suelo, la temperatura ambiente y la humedad relativa, además de las precipitaciones diarias. Y una estación base o de recepción de información. Para determinar la escala de alerta de humedad, fue necesario llegar a ciertas conclusiones, ya que no existía información previa sobre esta escala debido a la variedad del suelo, que depende de la ubicación de trabajo. Por ejemplo, si el lugar de monitoreo está cerca de cuencas, la humedad será diferente.

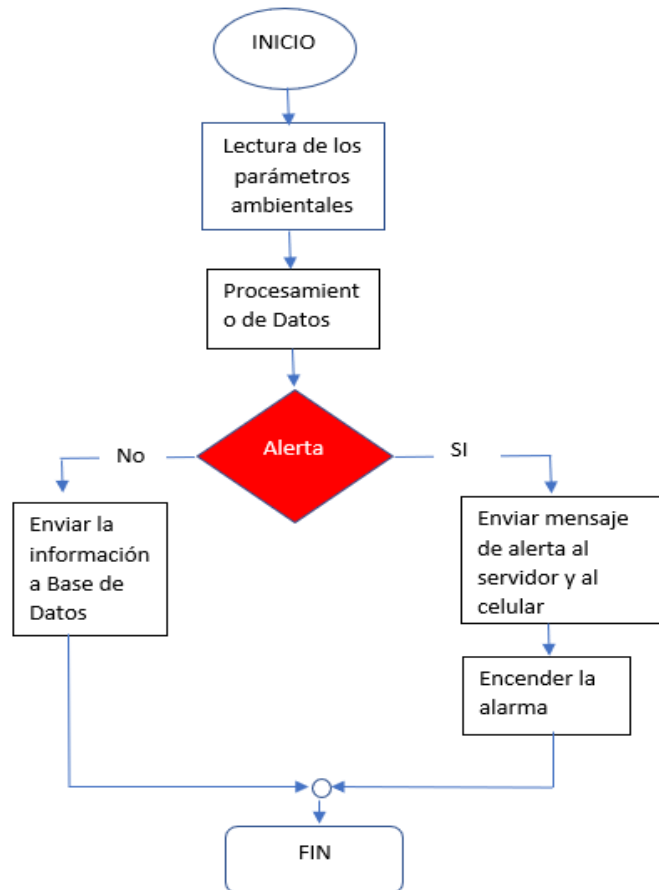
Se estableció la siguiente escala de alerta mínima

Humedad igual o mayor al 80% = Alerta

Precipitación de más de 138 mm de agua = Alerta

Estos valores se utilizaron como referencia para el proyecto.

### Modelo a utilizar



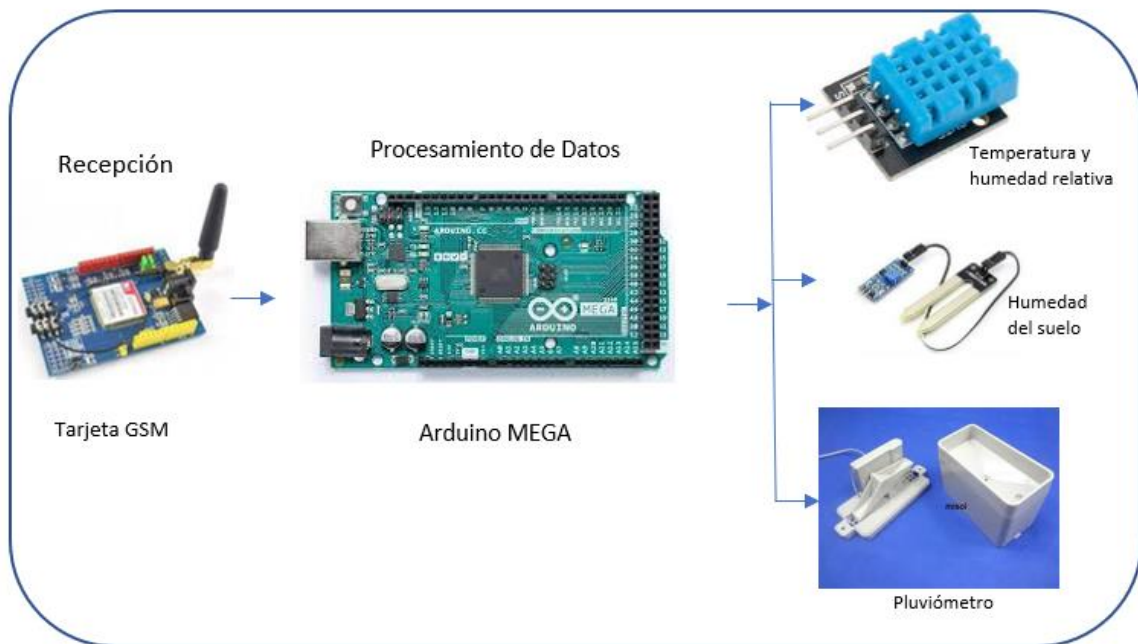
**Figura 18** Diagrama de flujo del sistema

Para la implementación de una red inalámbrica se requiere de dos dispositivos: un transmisor y un receptor

En dispositivo transmisor es el que se encarga de recopilar la información y enviarla al dispositivo receptor para su interpretación.

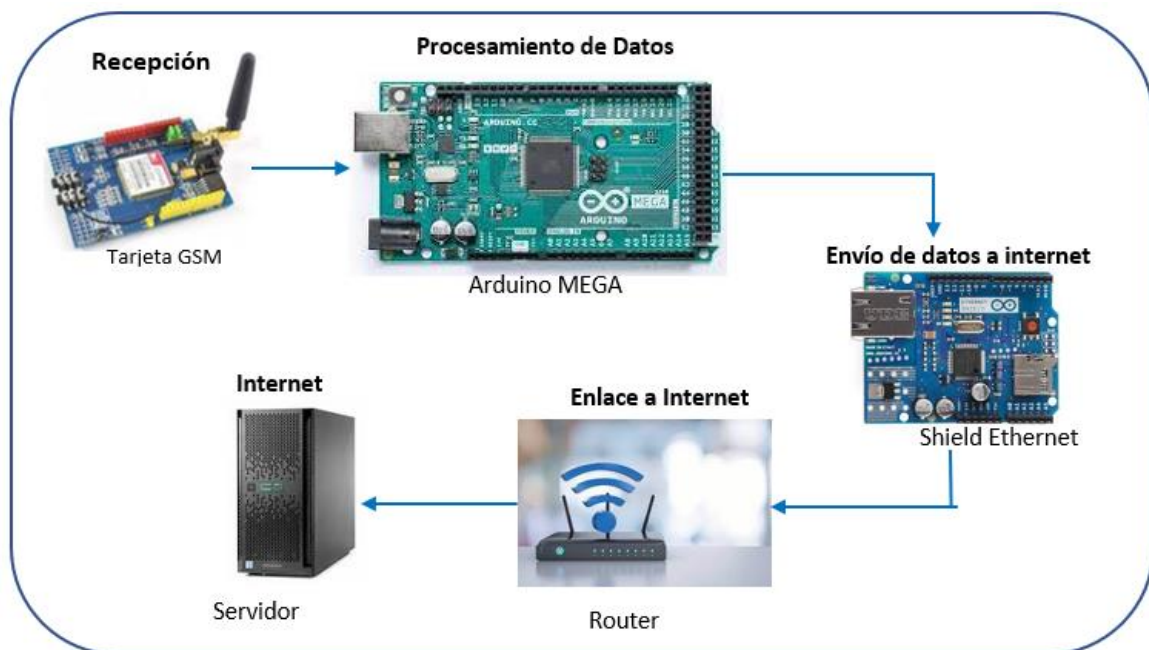
Es esencial contar con un módulo GSM SIM900 para la transmisión de datos, además de necesitar un microcontrolador que se encargue de procesar la información y generar la

estructura de datos de manera que no surjan dificultades en su desciframiento o descriptación.



**Figura 19** Esquema de transmisión

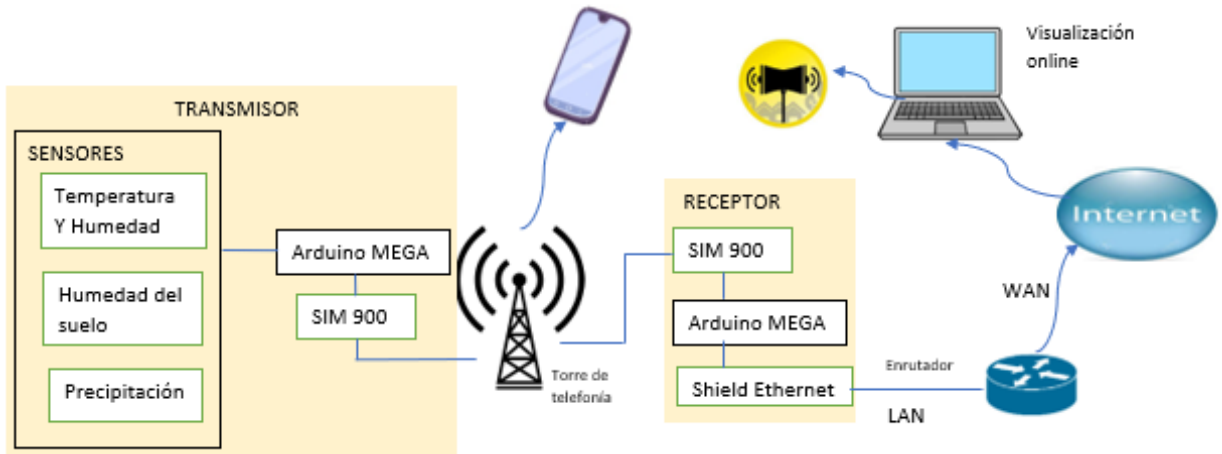
Para la recepción y tratamiento de información mediante la red celular GSM es necesario contar con los siguientes dispositivos



**Figura 20** Dispositivos para la recepción de información

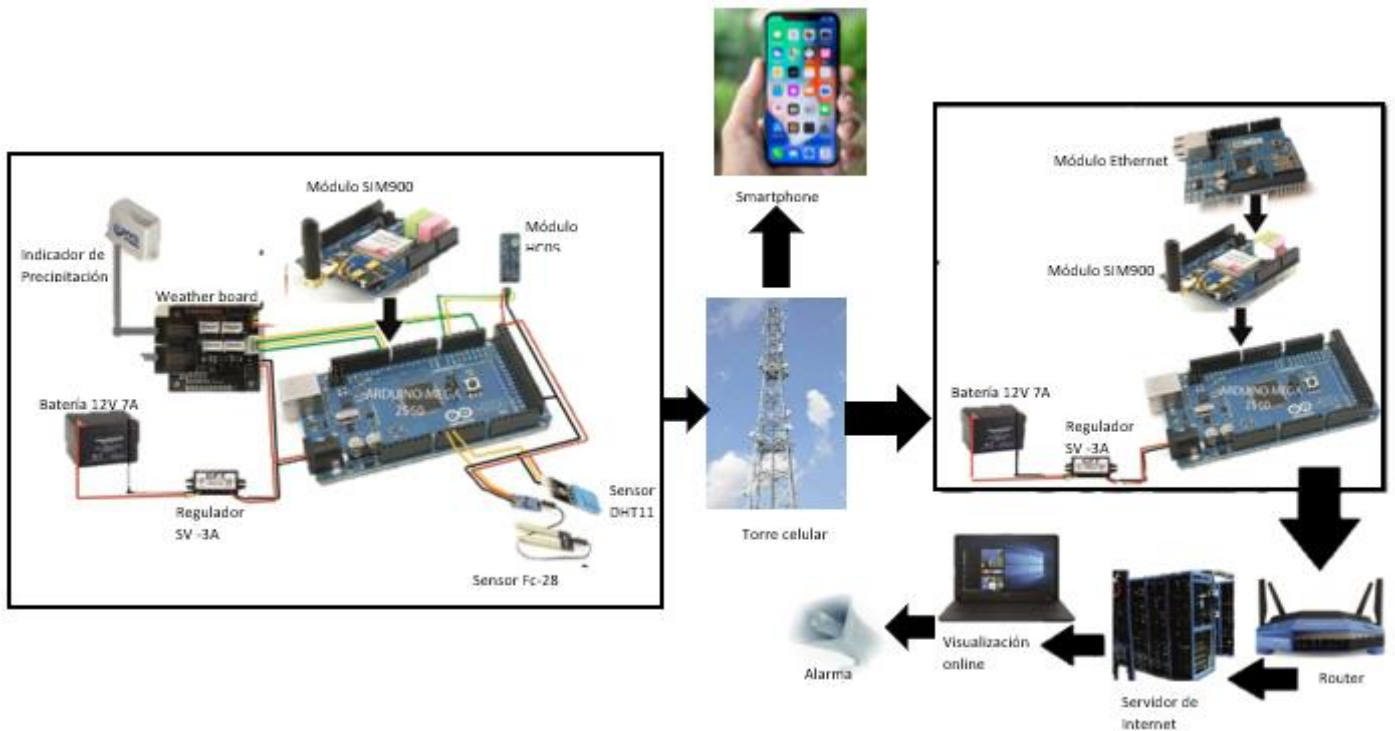


**Elaboración de diseño**



**Figura 21** Diagrama lógico de comunicación

En la Figura 20 se muestra un diagrama lógico de comunicación del SAT a implementar



**Figura 22** Diagrama Físico de Comunicación modificado de (Córdova & Bonilla, 2018)

En la Figura 21 se observa el diagrama Físico de comunicación con todos los dispositivos y sensores a utilizar



Para visualizar los datos capturados por los sensores a través de Internet, es necesario contar con una cuenta de acceso, en este caso, en el sitio web thingspeak.com. Luego, se procede a la configuración de acuerdo a los requisitos específicos. (Córdova & Bonilla, 2018)

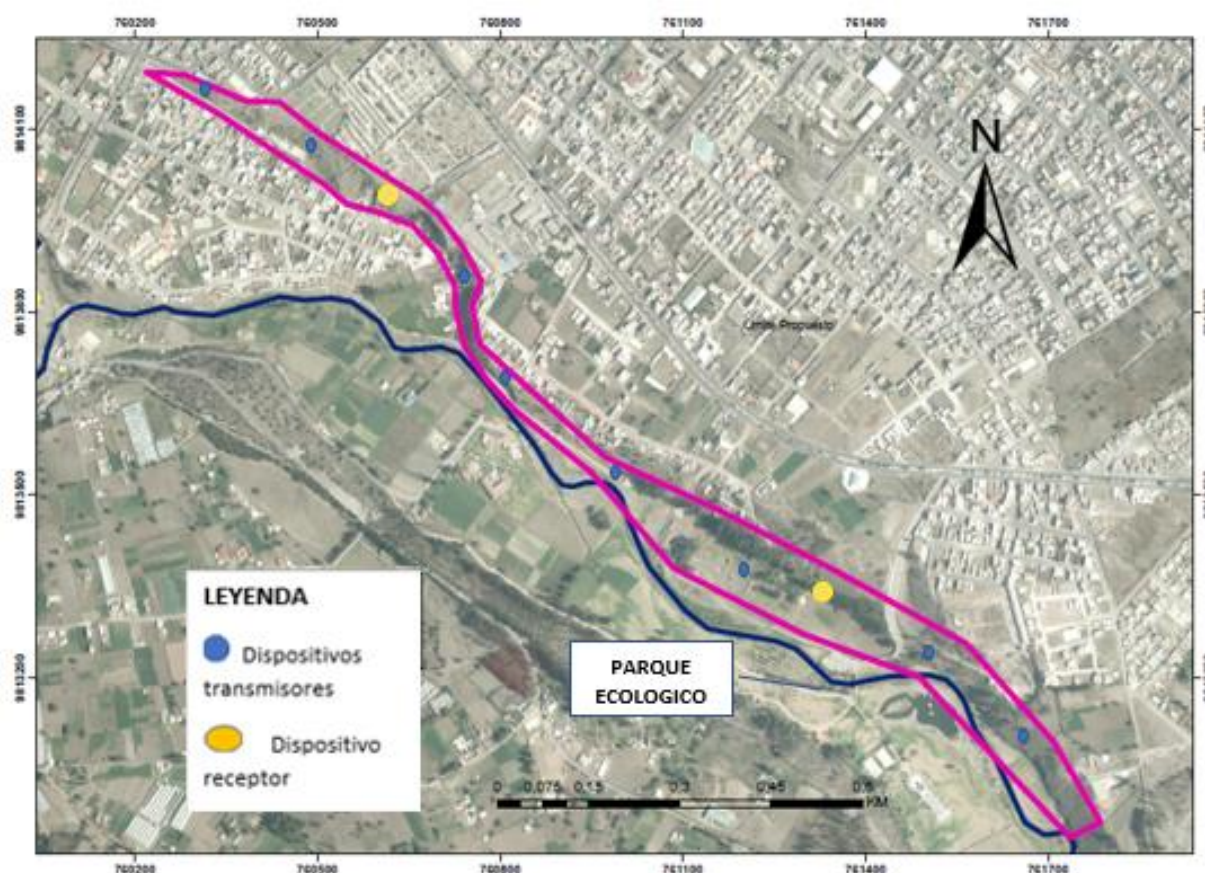
Una vez realizada la configuración y luego de iniciar sesión en la página web se podrá mostrar las gráficas estadísticas de los distintos parámetros que se están evaluando o recopilando información.

Estas estaciones de transmisión de información estarán vigiladas por la comunidad del sector para que no exista ningún tipo de incidente o sustracción de los dispositivos, el manejo de información en la estación base estará a cargo del Departamento de Gestión de Riesgo del Municipio de Riobamba.

Se establece un presupuesto para el Sistema de alerta temprana teniendo en cuenta que se colocará 8 dispositivos para transmisión de información distribuidos por toda el área de estudio a una distancia de 200m entre cada dispositivo de información y dos dispositivos de recepción.

**Tabla 18** *Presupuesto para el SAT*

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
8	Sensor de Temperatura y Humedad Relativa	4	32
8	Sensor de Humedad del suelo	3	24
10	Arduino MEGA	30	300
9	Módulo GSM/GPRS	15	135
10	Chip + Paquete SMS	12	120
1	Chip	5	5
90	Cable UTP cat 5e (1 metro)	1	90
9	Batería 12V 7A	23	207
9	Regulador de voltaje 5V 3A	3,5	31,5
9	Módulo Bluetooth	10	90
8	Gabinete metálico IP64	13	104
1	Módulo Shield Ethernet	12	12
2	Sirena	80	160
	<b>TOTAL</b>		<b>1230,5</b>



**Figura 23** Topología tipo estrella del proyecto

### 4.3 Discusión

La falta de planificación y la ausencia de un sistema de alerta temprana ante deslizamientos en lugares vulnerables representan una combinación peligrosa que pone en riesgo la seguridad y el bienestar de las comunidades. Es necesario implementar planes de ordenamiento territorial que restrinjan la construcción en zonas inestables, así como invertir en tecnologías de monitoreo y sistemas de alerta temprana para minimizar los riesgos asociados con estos fenómenos naturales. Al mismo tiempo, se debe promover la educación y concientización sobre los peligros para que las personas estén preparadas para actuar ante una situación de emergencia. Solo mediante una acción coordinada y consciente, se podrá reducir los impactos negativos de los deslizamientos en lugares vulnerables y proteger la vida y el patrimonio de nuestras comunidades.

## **5 CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 Conclusiones**

Gracias a la colaboración de la Arquitecta Gabriela Luna jefa del departamento de ordenamiento territorial se pudo obtener un mapa de riegos de deslizamientos siendo de gran utilidad para poder identificar de manera más precisa los lugares en los que se debe levantar información.

Una vez identificados los lugares vulnerables a deslizamientos se procedió a levantar información necesaria que nos ayude a identificar el nivel de riesgo asociado a la vulnerabilidad física dándonos como resultado que se encuentran en mayor riesgo de deslizamientos las zonas Z38I, Z38II Y Z38III que comprende el barrio los Shirys hasta la Ciudadela Monseñor Leónidas Proaño con un nivel de riesgo de 28,24, y será el lugar donde se pretende implementar el SAT.

Al realizar la comparación de los SAT vale la pena señalar que tanto los sistemas de alerta temprana comunitarios como los tecnológicos presentan ventajas y desventajas distintas. Los sistemas comunitarios se benefician del conocimiento local y la colaboración ciudadana, mientras que los tecnológicos brindan mayor precisión y cobertura. En ocasiones, la combinación de ambos enfoques puede ser la estrategia más efectiva para asegurar una alerta temprana eficiente en situaciones de emergencia.

La implementación de un sistema de Red de Sensores Inalámbricos (WSN) para un sistema de alerta temprana ante deslizamientos se revela como una solución altamente eficiente y rentable. La eficiencia radica en la capacidad de los sensores para monitorear y recopilar datos precisos en tiempo real, lo que permite una detección temprana y una respuesta rápida ante amenazas de deslizamientos. Además, el uso de tecnología inalámbrica reduce la necesidad de costosas infraestructuras de cableado y simplifica la instalación, disminuyendo así los costos operativos y de mantenimiento a largo plazo. En conjunto, un sistema WSN se presenta como una elección efectiva y económicamente viable para la prevención de deslizamientos y la protección de vidas y propiedades.

## 5.2 Recomendaciones

La identificación y prevención de deslizamientos, así como la gestión del crecimiento desordenado en zonas inestables, requieren la colaboración de diversas instituciones, incluyendo gobiernos locales y regionales, departamentos de geología y medio ambiente. Estas instituciones deben establecer regulaciones de zonificación, llevar a cabo estudios geotécnicos, y promover el desarrollo seguro y sostenible. La participación de organizaciones no gubernamentales y la comunidad local es muy importante, y la coordinación interinstitucional y la planificación adecuada son esenciales para garantizar la seguridad en zonas propensas a deslizamientos.

En la implementación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) ante deslizamientos, el mantenimiento juega un papel crítico en la confiabilidad y efectividad del sistema. Se recomienda establecer un programa de mantenimiento regular y riguroso que incluya la calibración de sensores, el reemplazo de componentes desgastados, y la actualización de software y algoritmos. Además, es esencial contar con un equipo técnico capacitado y disponible para responder a las necesidades de mantenimiento de manera oportuna. La inversión continua en el mantenimiento del SAT garantiza que el sistema esté siempre listo para proporcionar alertas precisas y oportunas, contribuyendo así a la seguridad de la comunidad ante la amenaza de deslizamientos.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

- ACUÑA, R., DÍAZ, A., & FORERO, C. (2019). *EVALUACIÓN DEL RIESGO POR DESLIZAMIENTO EN EL TALUD UBICADO EN EL BARRIO LOS TÚNELES, BOQUERÓN EN EL MUNICIPIO DE IBAGUÉ TOLIMA*. Obtenido de [https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/8444/1/2019\\_Evaluacion\\_Riesgo\\_Deslizamiento.pdf](https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/8444/1/2019_Evaluacion_Riesgo_Deslizamiento.pdf)
- Alcántara, I. (2000). Landslides: ¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología. *Investigaciones Geográficas, Bolefin del Instituto de Geografía, UNAM(41)*, 7-25.
- Bello, O., Bustamante, A., & Pizarro, P. (2020). *CEPAL*. Obtenido de Planificación para la reducción del riesgo de desastres en el marco de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible: [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46001/1/S2000453\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46001/1/S2000453_es.pdf)
- Bustamante, D. (2018). Perspectiva para zonificación del riesgo por deslizamientos para el cantón Riobamba. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo, 1(1)*, 20-28. Obtenido de <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/RevFIG/article/download/817/853/3251>
- Cabrera, E. (2021). *SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS MEDIANTE EL USO DE SIG, A ESCALA 1: 10 000, DEL TRAMO VIAL COMPRENDIDO DESDE: EL REDONDEL DEL BARRIO EL PLATEADO HASTA EL ANTIGUO PEAJE DEL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA*. Universidad Nacional de Loja. Obtenido de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/24356/1/EdgarMauricio-CabreraMalla.pdf>
- Carranza, B. (2020). *PLAN DE GESTIÓN DE RIESGOS ANTE DESLIZAMIENTOS, ESCUELA DE EDUCACIÓN GENERAL BÁSICA DEMETRIO AGUILERA MALTA, COMUNIDAD BOQUERÓN - OLMEDO. FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y DE LA AGRICULTURA*. Obtenido de <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/2567/1/TESIS%20BRAYAN%20ESCOBAR%20CARRANZA.pdf>
- CEPAL. (2019). *Planificación para el desarrollo territorial sostenible en América Latina y el Caribe*. Obtenido de <https://www.cepal.org/es/publicaciones/44731-planificacion-desarrollo-territorial-sostenible-america-latina-caribe>

- Córdova, E., & Bonilla, C. (2018). *Sistema de comunicación mediante WSN para detección y alerta temprana de deslizamientos de tierra*. Universidad Técnica de Ambato. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/27123>
- CRE. (2015). *Constitución de la República del Ecuador*. Quito. Obtenido de <https://www.cosede.gob.ec/wp-content/uploads/2019/08/CONSTITUCION-DE-LA-REPUBLICA-DEL-ECUADOR.pdf>
- Cruden , D., & Vanes, D. (1996). Landslides types and processes. En *Landslides: Investigation and Mitigation, Transportation Research Board, Special Report 247* (págs. 36-75). Washington, D.C: Turner, A. K. y R. L. Schuster .
- De Sena, A. (2020). *Vulnerabilidad, pobreza y políticas sociales*. CLACSO. Obtenido de <https://biblioteca.clacso.edu.ar/clacso/gt/20201217014006/Vulnerabilidad-pobreza.pdf>
- Dominguez, E., & Lozano, S. (2014). Estado del arte de los sistemas de alerta temprana en Colombia . *Raccefyn*, 38(148). doi:<https://doi.org/10.18257/raccefyn.132>
- Ecuavisa. (7 de Marzo de 2017). *Deslizamiento de tierra bloquea vía Riobamba-Penipe y deja incomunicado a 2 poblados*. Obtenido de Ecuavisa: <https://www.ecuavisa.com/noticias/ecuador/deslizamiento-tierra-bloquea-riobamba-penipe-deja-incomunicado-2-KAEC248031>
- El Comercio. (25 de Marzo de 2019). La vía Riobamba-Cuenca, cerrada por un deslizamiento de tierra. *El Comercio*. Obtenido de <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/via-riobamba-cuenca-cerrada-deslizamiento.html>
- El Comercio. (14 de Abril de 2020). Deslizamiento de tierra causa cierre en la vía Riobamba-Guayaquil. *El Comercio*. Obtenido de <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/deslizamiento-tierra-cierre-riobamba-guayaquil.html>
- El Telégrafo. (19 de Febrero de 2018). Vía Alóag – Santo Domingo permanece cerrada por deslizamiento de tierra. *El Telégrafo*. Obtenido de <https://notimundo.com.ec/via-aload-santo-domingo-permanece-cerrada-por-deslizamiento-de-tierra/>
- El Universo. (9 de Junio de 2000). Últimos deslaves. *El Universo*. Obtenido de <https://www.eluniverso.com/2002/07/19/0001/678/7EE25082082944B596F36A24585F8506.html/>

- El universo. (17 de Febrero de 2003). Lluvias causaron daños en la vía Cumandá-Riobamba. *El universo*. Obtenido de <https://www.eluniverso.com/2003/02/17/0001/12/88525346A3794FE3B9F5754F95ECEEC6.html/>
- El Universo. (9 de Agosto de 2004). Geólogos evalúan hoy riesgo en suelo de Paccha Bactinac. *El Universo*. Obtenido de <https://www.eluniverso.com/2004/08/09/0001/12/D5D695F49747420AB8EC478E4C62E8EC.html/>
- Escobar, G. (2020). *PLAN DE GESTIÓN DE RIESGOS ANTE DESLIZAMIENTOS, ESCUELA DE EDUCACIÓN GENERAL BÁSICA DEMETRIO AGUILERA MALTA, "COMUNIDAD BOQUERÓN - OLMEDO*. Jipijapa. Obtenido de <http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/2567/1/TESIS%20BRAYAN%20ESCOBAR%20CARRANZA.pdf>
- FLACSO. (2014). *Agenda de reducción de riesgos: Provincia de Chimborazo*. Quito. Obtenido de <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/54568.pdf>
- Gallo, C., & Medina, J. (2021). *Propuesta de instrumentos para implementar un sistema de alerta temprana ante flujo de detritos en la quebrada Pedregal, Lurigancho Chosica, 2020*. Lima.
- Gestión del riesgo. (2022). *Gestión del riesgo*. Obtenido de [https://www.eird.org/cd/toolkit08/material/proteccion-infraestructura/gestion\\_de\\_riesgo\\_de\\_amenaza/8\\_gestion\\_de\\_riesgo.pdf](https://www.eird.org/cd/toolkit08/material/proteccion-infraestructura/gestion_de_riesgo_de_amenaza/8_gestion_de_riesgo.pdf)
- Gutierrez, D., Bornachera, L., & Mosquera, D. (2018). Sistema de alerta temprana por movimiento en masa inducido por la lluvia para Ciudad Bolívar. *Revista Ingeniería Solidaria*, 14(26).
- Guzman, M. (2022). *Refracción sísmica y MASW para la caracterización de dos deslizamientos rotacionales en la Carretera Federal ID Ensenada, Baja California, México*. Centro de Investigación Científica y de Educación. Obtenido de [https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/3787/1/tesis\\_Mois%20Francisco%20Guzm%C3%A1n%20Villa\\_01%20nov%202022.pdf](https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/3787/1/tesis_Mois%20Francisco%20Guzm%C3%A1n%20Villa_01%20nov%202022.pdf)
- Hinestroza, D. (2019). *SISTEMA DE MONITOREO DE VARIABLES AMBIENTALES PARA GESTIONAR ALERTAS TEMPRANAS EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ*. UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS. Obtenido de

<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/15600/HinestrozaConradoDirsonYair2019.pdf?sequence=1>

- La Prensa. (15 de Febrero de 2022). Deslizamiento de tierra obstaculizó el 90 % de la vía Huigra en Alausí. *La prensa Chimborazo*. Obtenido de <https://www.laprensa.com.ec/deslizamiento-de-tierra-en-alausi/#:~:text=Deslizamiento%20de%20tierra%20obstaculiz%C3%B3%20el%2090%20%25%20de%20la%20v%C3%ADa%20Huigra%20en%20Alaus%C3%AD,-Por&text=El%20ECU%20911%20de%20Riobamba,estuvo%20obstaclizada%20en%20un>
- Los Andes. (12 de Septiembre de 2021). Deslizamiento de tierra en la vía Riobamba-Licto causó congestión. *Los ANdes*. Obtenido de <https://www.diariolosandes.com.ec/deslizamiento-de-tierra-en-la-via-riobamba-licto-causo-congestion/>
- Márquez, C. (12 de Septiembre de 2016). *La vía Riobamba – Macas está cerrada por un nuevo deslizamiento*. Obtenido de El oriente: <https://www.eloriente.com/articulo/la-via-riobamba-macas-esta-cerrada-por-un-nuevo-deslizamiento/6303>
- Municipalidad de Guayaquil. (2021). *Guía de organización multinivel para la reducción de riesgos de desastres en contextos urbanos, con enfoque basado en derechos*. Alcaldía de Guayaquil. Obtenido de <https://www.guayaquil.gob.ec/wp-content/uploads/2021/01/guia-multinivel-diagramado.pdf>
- Nicomedes , T. (2019). *TIPOS DE INVESTIGACIÓN*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/250080756.pdf>
- Ochan, J. (2007). Sistemas de Alerta Temprana. Fotografía actual y retos. *Cuadernos internacionales de tecnología para el desarrollo humano*.
- Ocharan, J. (2007). Sistemas de Alerta Temprana. Fotografía actual y retos. *Cuadernos internacionales de tecnología para el desarrollo humano*.
- OEA. (2020). *Desastres, Planificación y Desarrollo: Manejo de Amenazas Naturales para Reducir los Daños*. Obtenido de <https://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea57s/ch005.htm>
- ONU. (2009). Sistemas Comunitarios de Alerta Temprana ante Inundaciones en el Istmo Centroamericano y la República Dominicana. *Revista EIRD Informa - Las Américas*. Obtenido de [/www.eird.org/esp/revista/no\\_17\\_2010/art30.html](http://www.eird.org/esp/revista/no_17_2010/art30.html)



- ONU. (2022). *Sistemas de alerta temprana*. Obtenido de <https://www.un.org/es/climate-change/climate-solutions/early-warning-systems>
- Salas, J. (2016). *PROPUESTA DE UN SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA VIVIENDA SOCIAL PARA LAS ZONAS ANDINAS DE COLOMBIA*. UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUÑA. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/102623/TFM%20JOHN%20SALAS.pdf?sequence=1>
- Samaniego, E. (2008). *DESLIZAMIENTOS EN LA COMUNIDAD DE “PUEBLO VIEJO, CANTON ALAUSI,* Quito. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/143430388.pdf>
- Secretaria Nacional de planificación. (2023). *Automatización de la red nacional de observación hidrometeorológica, para la toma de decisiones y la transición ecológica del Ecuador*. Obtenido de [https://www.inamhi.gob.ec/Lotaip/Planificacion/2023/Enero/PERFIL\\_PROYECTO\\_CONSOLIDADO\\_INAMHI.pdf](https://www.inamhi.gob.ec/Lotaip/Planificacion/2023/Enero/PERFIL_PROYECTO_CONSOLIDADO_INAMHI.pdf)
- Sedesol. (2010). *Atlas de peligros naturales en el municipio del valparaiso, Zacatecas*. Valparaíso. doi:<https://docplayer.es/85519338-Atlas-de-peligros-naturales-en-el-municipio-de-valparaiso-zacatecas.html>
- SNGRE. (2012). *SNGR atendió afectaciones por deslizamientos en Chimborazo*. Quito. Obtenido de <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/deslizamientos-de-tierra-en-tumba-san-francisco-chimborazo/>
- SNGRE. (2013). *Chimborazo cuenta con herramientas técnicas para prevención de riesgos*. Quito. Obtenido de <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/provincia-de-chimborazo-cuenta-con-sistema-de-alerta-temprana-y-herramientas-tecnicas-para-prevencion-de-riesgos/>
- SNGRE. (2013). *Deslizamiento de tierra de pequeñas dimensiones se produce en Chimborazo*. Quito. Obtenido de <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/deslizamiento-de-tierra-de-pequenas-dimensiones-se-produce-en-chimborazo/>
- Suárez, J. (2012). Capítulo 1 Nomenclatura y Clasificación de los Movimientos. En *Deslizamientos: Análisis Geotécnico*. Obtenido de <https://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-i-analisis-geotecnico/>

- Terzaghi, K. (1950). Mechanisms of landslides. Geological Society of America, Inc.  
Obtenido de <https://doi.org/10.1130/Berkey.1950.83>
- UNDRR. (2019). *Los Fenómenos naturales y los desastres*. Obtenido de <https://www.eird.org/fulltext/ABCDesastres/teoria/desastres.htm>
- UNESCO. (2010). MANUAL DE SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA. *DIRECCION NACIONAL DE EDUCACION AMBIENTAL*.
- UNESCO. (2012). SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA MANUAL INFORMATIVO Para Estudiantes.
- Varnes, D. (1958). Landslides types and processes. En *Landslides and Engineerig Practice* (págs. 20-47). Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=pX4vAQAAIAAJ&ots=xD-yTgnXIU&lr&hl=es&pg=PP5#v=onepage&q&f=false>

## 7 ANEXOS

### 7.1 Anexo 1 Evaluación de RFV de las diferentes zonas

#### Z38I Barrio La Tarazana

Factores detonantes	Valor de influencia	CIA
Pendiente	4	1,25
Precipitación	4	1,25
Uso del suelo	3	0,94
Acción antrópica	2	0,63
Actividad sísmica	3	0,94
Total	16	5

Elementos expuestos	Valor de influencia	CIV
Estructural	4	1,43
Vía Vehicular	3	1,07
Redes eléctricas	4	1,43
Redes de agua potable	3	1,07
Total	14	5

#### AMENAZA

Factor	Categoría	Subcategoría	Valoración	Factor de influencia	Talud
<b>Pendiente</b>	0°-3°	Muy Plano	1	1,25	5,00
	3°-7°	Plano	1		
	7°-12°	Semiondulado	1		
	12°-25°	Ondulado	2		
	25°-50°	Muy Ondulado	3		
	50°-75°	Escarpado	4		
	>75°	Muy Escarpado	5		
<b>Precipitación</b>	<1000mm	Muy Bajo	1	1,25	3,75
	1000mm-1300mm	Bajo	2		
	1300mm-1600mm	Medio	3		
	1600mm-2000mm	Alto	4		
	>2000mm	Muy Alto	5		

<b>Factor</b>	<b>Categoría</b>	<b>Subcategoría</b>	<b>Valoración</b>	<b>Factor de influencia</b>	<b>Talud</b>
<b>Cobertura y uso de Suelo</b>		Cuerpo de Agua	2	0,94	1,88
		Bosque Nativo	1		
		Plantación Forestal	2		
		Infraestructura	2		
		Mosaico Agropecuario	2		
		Área poblada	2		
<b>Acción Antrópica</b>	Ganadería	Ganadería Extensiva	0	0,63	0,00
		Ganadería Intensiva	0		
		Sobrepastoreo Excesivo	5		
	Construcciones	Con Diseño	2		
		Sin Diseño	3		
		En zonas inestables	4		
		En zonas falladas	5		
		Muy Cercana <1 Km	5		
		Cercana entre 1 -3,5 Km	4		
	<b>Actividad Sísmica</b>	Proximidad a la falla de más cercana	Cercanía moderada entre 3,5 y 5,5 Km		
Distante entre 5,5 Y 7 Km			2		
Muy Distante > 7 Km			1		
					15,31

### VULNERABILIDAD FISICA

Factor	Afectación	Valoración	Protección	Valoración	Factor de influencia	Talud
<b>Estructural, residencial e institucional</b>	Muy Alta	5	Con Diseño	5	1,43	5,71
			Sin Diseño	2		
	Alta	4	Concreto	5		
			Ladrillo	4		
	Media	3	Madera	3		
			Daños ligeros no estructurales	4		
	Baja	2	Daños Importantes	2		
			Daños Graves	1		
	Muy Baja	1				
	Muy Alta	5	Pavimentada	5		
<b>Vías Vehiculares</b>	Alta	4	Sin Pavimentar	1,5	1,07	1,07
			Con tratamiento superficial	3		
	Media	3	Sin tratamiento superficial	3		
	Baja	2	Con Diseño	2,5		
			Sin Diseño	3		
			Obstrucción de la vía	2,5		
	Muy Baja	1	Destrucción total de la vía	2		
			Postes en Concreto	1		
	Muy Alta	5	Postes en madera	2		
			Postes en acero	1		
<b>Redes Eléctricas</b>	Alta	4	Redes Subterráneas	3	1,43	4,29
			Redes Aéreas	4		
	Media	3	Planta de energía	2		
			Subestación eléctrica	4		
	Baja	2	Sistema móvil de	4		
	Muy Baja	1	Tubería de	2		
			Concreto	2		
	Muy Alta	5		1		

<b>Factor</b>	<b>Afectación</b>	<b>Valoración</b>	<b>Protección</b>	<b>Valoración</b>	<b>Factor de influencia</b>	<b>Talud</b>
<b>Redes de Agua Potable</b>	Alta	4	Tubería en PVC	2	1,07	2,14
			Tubería en gres	1		
			Tubería en Asbesto	3		
			Cemento	3		
	Media	3	Tubería Metálica	3		
			Tubería en Polietileno	4		
	Baja	2	Tubería en Bronce	3		
			Tubería Galvanizada	1		
			Sin Válvula de cierre cercana	1		
	Muy Baja	1	Con Válvula de cierre cercana	5		
Con Diseño Sin Diseño			5 1			
						13,21

### ZONA 33 Barrio Modesto Arrieta

<b>Factores detonantes</b>	<b>Valor de influencia</b>	<b>CIA</b>
Pendiente	2	0,91
Precipitación	3	1,36
Uso del suelo	3	1,36
Acción antrópica	2	0,91
Actividad sísmica	1	0,45
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>5</b>

<b>Elementos expuestos</b>	<b>Valor de influencia</b>	<b>CIV</b>
Estructural	2	1,00
Vía Vehicular	3	1,50
Redes eléctricas	2	1,00
Redes de agua potable	3	1,50
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>5</b>

## AMENAZA

Factor	Categoría	Subcategoría	Valoración	Factor de influencia	Talud	
<b>Pendiente</b>	0°-3°	Muy Plano	1	0,91	1,82	
	3°-7°	Plano	1			
	7°-12°	Semiondulado	1			
	12°-25°	Ondulado	2			
	25°-50°	Muy Ondulado	3			
	50°-75°	Escarpado	4			
	>75°	Muy Escarpado	5			
<b>Precipitación</b>	<1000mm	Muy Bajo	1	1,36	4,09	
	1000mm-1300mm	Bajo	2			
	1300mm-1600mm	Medio	3			
	1600mm-2000mm	Alto	4			
	>2000mm	Muy Alto	5			
<b>Cobertura y uso de Suelo</b>	Cuerpo de Agua		0	1,36	1,36	
	Bosque Nativo		1			
	Plantación Forestal		2			
	Infraestructura		3			
	Mosaico Agropecuario		0			
	Área poblada		4			
	Ganadería Extensiva		0			
<b>Acción Antrópica</b>	Ganadería Intensiva		0	0,91	0,00	
	Sobrepastoreo Excesivo		5			
	Con Diseñio		2			
	Sin Diseñio		3			
	Construcciones	En zonas inestables				4
		En zonas falladas				5
	<b>Actividad Sísmica</b>	Proximidad a la falla de más cercana	Muy Cercana <1 Km			5
Cercana entre 1 -3,5 Km			4			
Cercanía moderada entre 3,5 y 5,5 Km			3			
Distante entre 5,5 Y 7 Km			2			

<b>Factor</b>	<b>Categoría</b>	<b>Subcategoría</b>	<b>Valoración</b>	<b>Factor de influencia</b>	<b>Talud</b>
		Muy Distante > 7 Km	1		10,91

### VULNERABILIDAD FISICA

<b>Factor</b>	<b>Afectación</b>	<b>Valoración</b>	<b>Protección</b>	<b>Valoración</b>	<b>Factor de influencia</b>	<b>Talud</b>
<b>Estructural, residencial e institucional</b>	Muy Alta	5	Con Diseño	5	1,00	2,00
			Sin Diseño	2		
	Alta	4	Concreto	5		
			Ladrillo	4		
	Media	3	Madera	3		
	Baja	2	Daños ligeros no estructurales	4		
	Muy Baja	1	Daños Importantes	2		
<b>Vías Vehiculares</b>	Muy Alta	5	Daños Graves	1	1,50	2,50
	Alta	4	Pavimentada	5		
			Sin Pavimentar	1,5		
	Media	3	Con tratamiento superficial	3		
	Baja	2	Sin tratamiento superficial	2,5		
			Con Diseño	4		
			Sin Diseño	2,5		
	Muy Baja	1	Obstrucción de la vía	2		
			Dstrucción total de la vía	1		
	Muy Alta	5	Postes en Concreto	2		
<b>Redes Eléctricas</b>			Postes en madera	1	1,00	2,00
	Alta	4	Postes en acero	3		
			Redes Subterráneas	4		
	Media	3	Redes Aéreas	2		
			Planta de energía	4		
	Baja	2	Subestación eléctrica	4		
	Muy Baja	1	Sistema móvil de	2		
	Muy Alta	5	Tubería de Concreto	1		
			Tubería en PVC	2		



Factor	Afectación	Valoración	Protección	Valoración	Factor de influencia	Talud
<b>Redes de Agua Potable</b>	Alta	4	Tubería en gres	1	1,50	3,00
			Tubería en Asbesto Cemento	3		
	Media	3	Tubería Metálica	3		
			Tubería en Polietileno	4		
	Baja	2	Tubería en Bronce	3		
			Tubería Galvanizada	1		
	Muy Baja	1	Sin Válvula de cierre cercana	1		
			Con Válvula de cierre cercana	5		
			Con Diseño	5		
			Sin Diseño	1		
						9,5

### Z30 Ciudadela Galápagos

Factores detonantes	Valor de influencia	CIA
Pendiente	3	1,07
Precipitación	3	1,07
Uso del suelo	2	0,71
Acción antrópica	4	1,43
Actividad sísmica	2	0,71
Total	14	5

Elementos expuestos	Valor de influencia	CIV
Estructural	4	1,33
Vía Vehicular	4	1,33
Redes eléctricas	4	1,33
Redes de agua potable	3	1,00
Total	15	5

### AMENAZA

Factor	Categoría	Subcategoría	Valoración	Factor de influencia	Talud
<b>Pendiente</b>	0°-3°	Muy Plano	1	1,07	4,29
	3°-7°	Plano	1		
	7°-12°	Semiondulado	1		
	12°-25°	Ondulado	2		

<b>Factor</b>	<b>Categoría</b>	<b>Subcategoría</b>	<b>Valoración</b>	<b>Factor de influencia</b>	<b>Talud</b>
<b>Precipitación</b>	25°-50°	Muy Ondulado	3	1,07	3,21
	50°-75°	Escarpado	4		
	>75°	Muy Escarpado	5		
	<1000mm	Muy Bajo	1		
	1000mm-1300mm	Bajo	2		
	1300mm-1600mm	Medio	3		
	1600mm-2000mm	Alto	4		
	>2000mm	Muy Alto	5		
<b>Cobertura y uso de Suelo</b>		Cuerpo de Agua	0	0,71	1,43
		Bosque Nativo	1		
		Plantación Forestal	2		
		Infraestructura	2		
		Mosaico Agropecuario	0		
		Área poblada	2		
		Ganadería Extensiva	0		
		Ganadería Intensiva	0		
<b>Acción Antrópica</b>		Sobrepastoreo Excesivo	5	1,43	2,86
		Con Diseño	2		
		Sin Diseño	3		
		En zonas inestables	4		
		En zonas falladas	5		
		Muy Cercana <1 Km	5		
		Cercana entre 1 -3,5 Km	4		
		Cercanía moderada entre 3,5 y 5,5 Km	3		
<b>Actividad Sísmica</b>	Proximidad a la falla de más cercana	Distante entre 5,5 Y 7 Km	2	0,71	0,71
		Muy Distante > 7 Km	1		
					12,50

### VULNERABILIDAD FISICA

Factor	Afectación	Valoración	Protección	Valoración	Factor de influencia	Talud
<b>Estructural, residencial e institucional</b>	Muy Alta	5	Con Diseño	5	1,33	4,00
			Sin Diseño	2		
	Alta	4	Concreto	5		
			Ladrillo	4		
	Media	3	Madera	3		
			Daños ligeros no estructurales	4		
	Baja	2	Daños Importantes	2		
			Daños Graves	1		
	Muy Baja	1	Pavimentada	5		
			Sin Pavimentar	1,5		
<b>Vías Vehiculares</b>	Alta	4	Con tratamiento superficial	3	1,33	4,00
			Sin tratamiento superficial	2,5		
	Media	3	Con Diseño	3		
			Sin Diseño	2,5		
	Baja	2	Obstrucción de la vía	2		
			Dstrucción total de la vía	1		
	Muy Baja	1	Postes en Concreto	2		
			Postes en madera	1		
	Muy Alta	5	Postes en acero	3		
			Redes Subterráneas	4		
<b>Redes Eléctricas</b>	Alta	4	Redes Aéreas	2	1,33	2,67
			Planta de energía	4		
	Media	3	Subestación eléctrica	4		
			Sistema móvil de	2		
	Baja	2				
Muy Baja	1					

Factor	Afectación	Valoración	Protección	Valoración	Factor de influencia	Talud
<b>Redes de Agua Potable</b>	Muy Alta	5	Tubería de Concreto	1	1,00	1,00
			Tubería en PVC	2		
	Alta	4	Tubería en gres	1		
			Tubería en Asbesto Cemento	3		
	Media	3	Tubería Metálica	3		
			Tubería en Polietileno	4		
	Baja	2	Tubería en Bronce	3		
			Tubería Galvanizada	1		
	Muy Baja	1	Sin Válvula de cierre cercana	1		
			Con Válvula de cierre cercana	5		
Con Diseño Sin Diseño			5 1			
						11,67

### Z20 Barrio Santa Ana

Factores detonantes	Valor de influencia	CIA
Pendiente	3	1,25
Precipitación	3	1,25
Uso del suelo	2	0,83
Acción antrópica	2	0,83
Actividad sísmica	2	0,83
Total	12	5

Elementos expuestos	Valor de influencia	CIV
Estructural	2	1,67
Vía Vehicular	1	0,83
Redes eléctricas	2	1,67
Redes de agua potable	1	0,83
Total	6	5

### AMENAZA

Factor	Categoría	Subcategoría	Valoración	Factor de influencia	Talud
<b>Pendiente</b>	0°-3°	Muy Plano	1	1,25	1,25
	3°-7°	Plano	1		
	7°-12°	Semiondulado	1		
	12°-25°	Ondulado	2		
	25°-50°	Muy Ondulado	3		
	50°-75°	Escarpado	4		
	>75°	Muy Escarpado	5		
<b>Precipitación</b>	<1000mm	Muy Bajo	1	1,25	1,25
	1000mm-1300mm	Bajo	2		
	1300mm-1600mm	Medio	3		
	1600mm-2000mm	Alto	4		
	>2000mm	Muy Alto	5		
<b>Cobertura y uso de Suelo</b>	Cuerpo de Agua		1	0,83	0,83
	Bosque Nativo		1		
	Plantación Forestal		2		
	Infraestructura		2		
	Mosaico Agropecuario		2		
	Área poblada		2		
<b>Acción Antrópica</b>	Ganadería	Ganadería Extensiva	3	0,93	2,79
		Ganadería Intensiva	4		
	Construcciones	Sobrepastoreo Excesivo	5		
		Con Diseño	2		
		Sin Diseño	3		
	En zonas inestables	4			
	En zonas falladas	5			

<b>Factor</b>	<b>Categoría</b>	<b>Subcategoría</b>	<b>Valoración</b>	<b>Factor de influencia</b>	<b>Talud</b>
<b>Actividad Sísmica</b>	Proximidad a la falla de más cercana	Muy Cercana <1 Km	5	0,83	0,83
		Cercana entre 1 -3,5 Km	4		
		Cercanía moderada entre 3,5 y 5,5 Km	3		
		Distante entre 5,5 Y 7 Km	2		
		Muy Distante > 7 Km	1		
					8,82

### VULNERABILIDAD FISICA

<b>Factor</b>	<b>Afectación</b>	<b>Valoración</b>	<b>Protección</b>	<b>Valoración</b>	<b>Factor de influencia</b>	<b>Talud</b>			
<b>Estructural, residencial e institucional</b>	Muy Alta	5	Con Diseño	5	1,67	3,33			
			Sin Diseño	2					
	Alta	4	Concreto	5					
			Ladrillo	4					
	Media	3	Madera	3					
			Daños ligeros no estructurales	4					
	Baja	2	Daños Importantes	2					
			Muy Baja	1			Daños Graves	1	
	<b>Vías Vehiculares</b>	Muy Alta	5	Pavimentada			5	0,83	0,83
				Alta			4		
Media		3	Con tratamiento superficial	3					
			Baja	2	Sin tratamiento superficial	2,5			
Muy Baja		1	Con Diseño	3					
			Sin Diseño	2,5					
			Obstrucción de la vía	2					
			Destrucción total de la vía	1					
Muy Alta	5	Postes en Concreto	2						
		Postes en madera	1						

<b>Factor</b>	<b>Afectación</b>	<b>Valoración</b>	<b>Protección</b>	<b>Valoración</b>	<b>Factor de influencia</b>	<b>Talud</b>
<b>Redes Eléctricas</b>	Alta	4	Postes en acero	3	1,67	1,67
			Redes Subterráneas	4		
	Media	3	Redes Aéreas	2		
			Planta de energía	4		
	Baja	2	Subestación eléctrica	4		
	Muy Baja	1	Sistema móvil de	2		
	Muy Alta	5	Tubería de Concreto	1		
			Tubería en PVC	2		
			Tubería en gres	1		
	Alta	4	Tubería en Asbesto Cemento	3		
Media	3	Tubería Metálica	3			
Redes de Agua Potable	Alta	4	Tubería en Polietileno	4	0,83	0,83
			Tubería en Bronce	3		
	Muy Baja	1	Tubería Galvanizada	1		
			Sin Válvula de cierre cercana	1		
			Con Válvula de cierre cercana	5		
			Con Diseño	5		
			Sin Diseño	1		
6,67						

## 7.2 ANEXO 2 Probabilidad de ocurrencia del deslizamiento

<b>Amenaza</b>	<b>Grado</b>	<b>Probabilidad de Ocurrencia</b>	<b>Significado</b>
Muy baja	<9,28	0,0004	Este limite es comparable con la probabilidad asociada al sismo creible, maximo que se usa para el diseño de presas en Canadá
Baja	9,28-15,03	0,002	Una probabilidad de 1/500 es de significado incierto

<b>Amenaza</b>	<b>Grado</b>	<b>Probabilidad de Ocurrencia</b>	<b>Significado</b>
Media	20,04	0,01	La ocurrencia de un deslizamiento en el termino de vida no es probable
Alta	20,04-21,33	0,05	Debe esperarse que ocurra un deslizamiento dentro del tiempo d vida de una persona ode una estructura típica, son identificables las perturbaciones pero noparecen recientes
Muy alta	>21,33	0,1	El evento puede ser inminente. Los deslizamientos ocurriran con un periodo de retorno de 10 años o menos y dejarian signos claros de perturbaciones relativamente frescos.

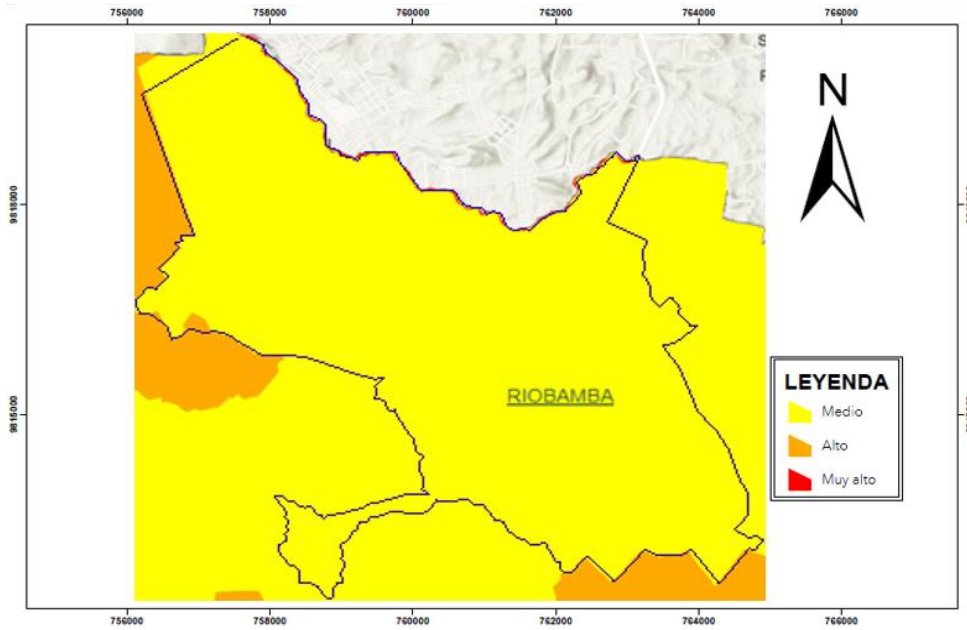
*Nota : Tomado de (ACUÑA, DÍAZ, & FORERO, 2019)*

### **7.3 ANEXO 3 Categorización de los niveles de riesgo**

<b>Nivel de Riesgo</b>	<b>Descripción</b>
Bajo	<p>Se considera que el RVF es bajo cuando se prevé que el evento amenazante producirá pocos daños, sin comprometer de manera significativa las estructuras residenciales e institucionales, y se esperan solo daños leves en algunos enseres y muebles.</p> <p>Bajo estas condiciones, las comunidades del sector no se verán afectadas en lo económico, social o cultural por causa del fenómeno.</p>
Medio	<p>Cuando se considera el nivel de riesgo medio, se prevé que las viviendas sean afectadas por falla en los elementos no estructurales del domicilio, como puertas y ventanas. Incluso, se esperan pequeñas fisuras en paredes, sin compromiso de su estructura o cimentaciones.</p>
Alto	<p>El riesgo es alto cuando se considera que las viviendas y construcciones cercanas a la zona inestable sufrirán deterioros estructurales visibles, con fisuras o roturas de elementos, como muros y vigas, lo que comprometerá seriamente su integridad estructural y causará una necesaria evacuación.</p>



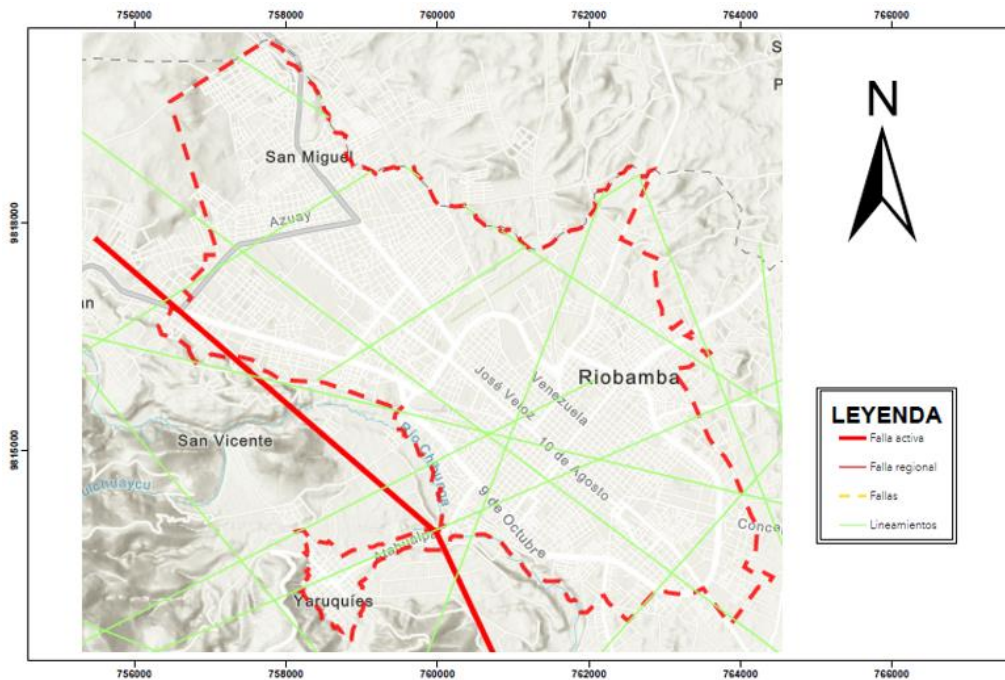
## 7.4 ANEXO 4 Mapa de riesgo sísmico



Mapa de Riesgo sísmico

Fuente: GEOPORTAL (Municipio de Riobamba)

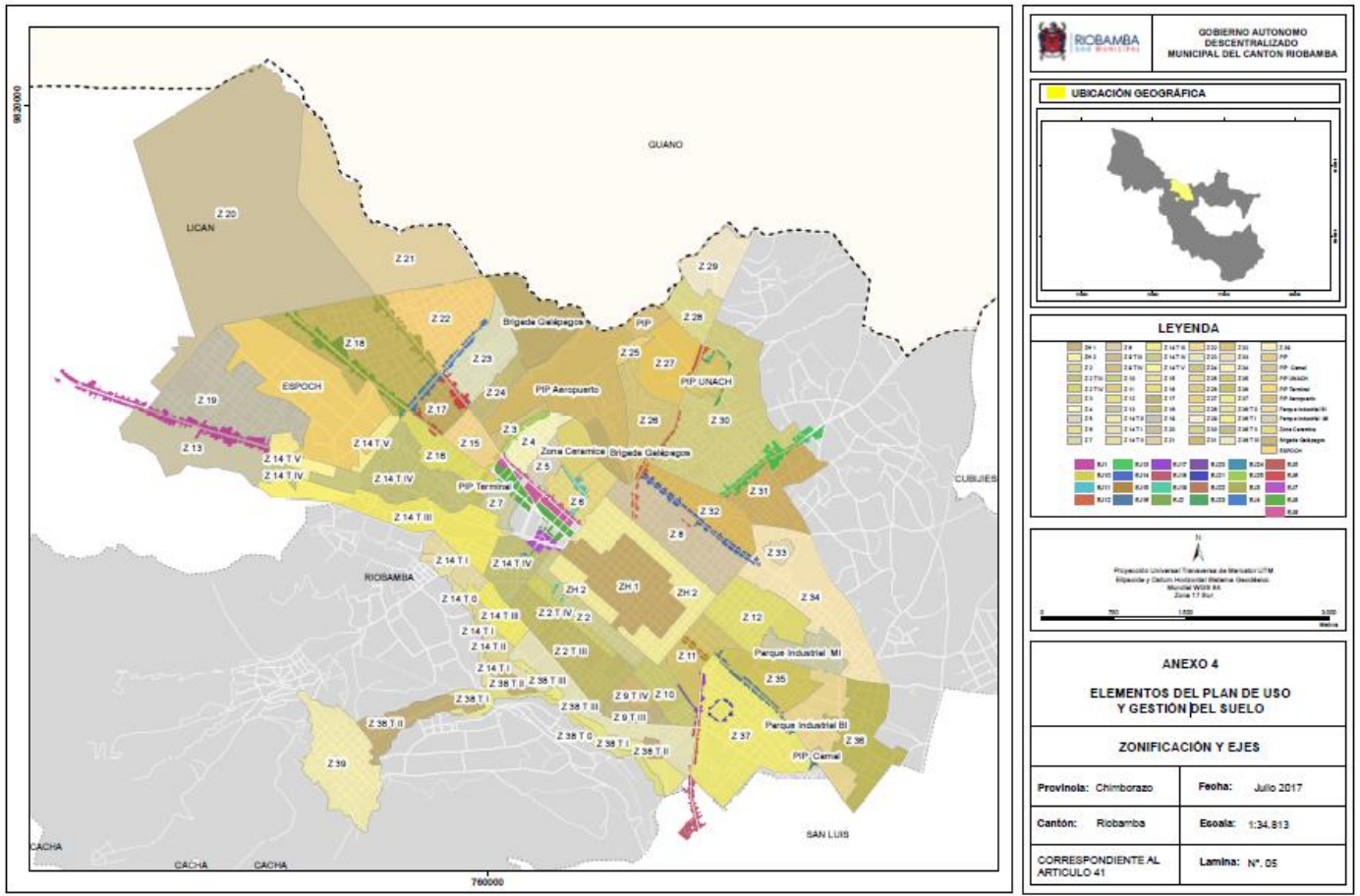
## 7.5 ANEXO 5 Mapa de fallas de Riobamba



Mapa de fallas de Riobamba

Fuente: GEOPORTAL (Municipio de Riobamba)

## 7.6 ANEXO 6 Zonificación Riobamba



## 7.7 Anexo 7 Código de montaje en Arduino

```
#include <Wire.h>
#include <DHT.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <Ethernet.h>
#include <SPI.h>
#include <Adafruit_FONA.h>
```

```
#define DHTPIN 2 // Pin al que está conectado el sensor DHT11
#define DHTTYPE DHT11 // Tipo de sensor DHT
```

```
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
SoftwareSerial gsmSerial(7, 8); // RX, TX del módulo GSM SIM900
```

```

Adafruit_FONA fona = Adafruit_FONA(9);

byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED }; // Dirección MAC para la
tarjeta Ethernet
IPAddress server(192, 168, 1, 100); // Dirección IP del servidor
EthernetClient client;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  gsmSerial.begin(4800);

  if (!fona.begin(gsmSerial)) {
    Serial.println(F("No se pudo comunicar con el módulo GSM"));
    while (1);
  }

  Ethernet.begin(mac);
  delay(1000);
}

void loop() {
  float soilHumidity = analogRead(A0); // Leer el sensor de humedad FC28 (ajusta el pin
según tu conexión)
  float rainLevel = analogRead(A1); // Leer el pluviómetro de balancín (ajusta el pin
según tu conexión)

  float humidity = dht.readHumidity(); // Leer la humedad relativa del sensor DHT11
  if (isnan(humidity)) {
    Serial.println("Error al leer la humedad del sensor DHT11");
    return;
  }
}

```

```

// Comprobar si la humedad del suelo es mayor al 80%
if (soilHumidity > 800) {
    sendAlert("Alerta de deslizamiento: Humedad del suelo alta");
}

// Comprobar si la precipitación es mayor a 138 mm
if (rainLevel > 138) {
    sendAlert("Alerta de deslizamiento: Precipitación alta");
}

delay(60000); // Esperar un minuto antes de realizar nuevas lecturas
}

void sendAlert(String message) {
    // Enviar un mensaje SMS con la alerta
    if (!fona.sendSMS("+1234567890", message)) { // Reemplaza con el número de teléfono
        al que quieres enviar el SMS
        Serial.println(F("Error al enviar el SMS"));
    } else {
        Serial.println(F("Mensaje de alerta enviado"));
    }

    // Encender la alarma
    digitalWrite(10, HIGH); // Conecta la sirena al pin 10 (ajusta el pin según tu conexión)

void activateAlarm() {
    digitalWrite(ALARM_PIN, HIGH);
}

void deactivateAlarm() {
    digitalWrite(ALARM_PIN, LOW);
}

```



## 7.8 ANEXO 8 Fotografías

### Barrio los Shirys



### Barrio Padre Modesto Arrieta





Barrio La Tarazana



Ciudadela Galápagos







Barrio Santa Ana

